



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**RIESGO DE INFORMACIÓN ASIMÉTRICA EN EL MERCADO DE
OPCIONES**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN ECONOMÍA APLICADA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

DANIEL IVÁN GONZÁLEZ MALDONADO

PROFESOR GUÍA:
ALEJANDRO BERNALES SILVA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MARCELA VALENZUELA BRAVO
PATRICIO VALENZUELA AROS

SANTIAGO DE CHILE
2021

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR
AL GRADO DE MAGÍSTER EN ECONOMÍA APLICADA
Y AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: **DANIEL IVÁN GONZÁLEZ MALDONADO**
FECHA: 2021
PROF. GUÍA: ALEJANDRO BERNALES SILVA

RIESGO DE INFORMACIÓN ASIMÉTRICA EN EL MERCADO DE OPCIONES

En esta tesis, estudio cómo los riesgos de información asimétrica de dirección y volatilidad acerca del precio del subyacente impacta en los precios que las market-makers publican en el mercado de opciones.

Las market-makers juegan un importante rol en el mercado de opciones. Son esenciales para mantener el mercado funcionando eficientemente al asegurar un cierto nivel de liquidez, permitiendo que las inversionistas puedan ejecutar sus transacciones raudamente. Sin embargo, día a día se ven enfrentadas principalmente a dos riesgos: inventario e información asimétrica. El riesgo de inventario ocurre cuando el portafolio de las market-makers se desvía de sus posiciones óptimas como consecuencia de los recurrentes desequilibrios de los flujos de órdenes. Al no poder replicar completamente las opciones en el mercado de stocks, constantemente requieren de mayores retornos para compensar el riesgo de mantener un portafolio con pesos subóptimos. El segundo riesgo se origina por la presencia de inversionistas informadas, las cuáles pueden explotar esta información privada en el mercado de opciones y obtener réditos. Las market-makers ante esto ajustan aún más sus precios, generando un spread mayor de cobertura al riesgo.

Este es un tema que se ha estado estudiando permanentemente en la literatura, sin embargo no se había podido estimar el tamaño y relativa importancia de estos componentes de riesgo hasta que Muravyev (2016) introdujo un nuevo marco teórico que permite descomponer los impactos. Muravyev muestra que el riesgo de inventario tiene un efecto de primer orden en el precio de las opciones, superior al de información asimétrica. En ese sentido, Muravyev contribuye notablemente en el estudio y entendimiento de la dinámica de los precios de la opciones, sin embargo en esta tesis se propone que su modelo podría aportar aún más información, si es que en su metodología incorporara los tipos de información asimétrica que manejan las inversionistas.

Utilizando como base la metodología introducida por Muravyev, se incorpora una variante en el modelo que permite descomponer la información privada entre información sobre la dirección del precio del subyacente, e información sobre la volatilidad del precio del subyacente. Esta extensión del modelo de Muravyev se prueba en una muestra con opciones relacionadas a 50 stocks (las opciones más líquidas de los años 2016 y 2017), desde enero a abril de los años 2017 y 2018. Los resultados del análisis indican que los dos componentes de información asimétrica son relevantes en la formación de precios y de importancia relativa superior al riesgo de inventario, contrario a lo que había encontrado Muravyev.

Los resultados también muestran que las market-makers responden de manera diferenciada a los tipos de información en función del subyacente y las características de la opción transada. Por ejemplo, encuentro que el impacto por información asimétrica de dirección es mayor en opciones in-the-money, mientras que el de volatilidad es mayor en opciones out-of-the-money.

Finalmente, al evaluar el modelo bajo la presencia de una estrategia de volatilidad como la straddle, se encuentra que las market-makers efectivamente responden con un impacto de información de volatilidad mayor, que es lo que se esperaría cuando se presentan eventos como éste.

Agradecimientos

Agradezco al Instituto Milenio para la Investigación en Imperfecciones de Mercado y Políticas Públicas ICM IS130002 por el apoyo brindado para la realización de esta tesis.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
2. Literatura	4
3. Método de Descomposición del Impacto en el Precio	6
3.1. Idea	6
3.2. Modelo	9
3.3. Cambios esperados en el precio	12
3.4. Supuestos	12
4. Data y construcción de la muestra	14
4.1. Descripción de la data	14
4.2. Filtros	14
4.3. Cálculo de los componentes	15
5. Resultados empíricos	18
5.1. Impactos de los componentes del precio	18
5.2. Modelo en presencia de straddles	21
6. Conclusiones	23
Bibliografía	24
Anexo A. Descripción completa del modelo	26
A.1. Modelo extendido	26
A.2. Cambios esperados en el precio	29
A.3. Resultados 2018	31
A.4. Chequeo inventario	35
A.5. Chequeo información de dirección	36

Índice de Tablas

4.1.	Resumen Estadístico 2017	17
5.1.	Componentes del impacto en el precio por stock muestra 2017	19
5.2.	Impactos condicionados por las características de la transacción y la opción muestra 2017	21
5.3.	Información asimétrica de volatilidad en presencia de straddles muestra 2017 .	22
A.1.	Cambios esperados en los precios ask y bid	31
A.2.	Resumen Estadístico 2018	32
A.3.	Componentes del impacto en el precio por stock muestra 2018	33
A.4.	Impactos condicionados por las características de la transacción y la opción muestra 2018	34
A.5.	Información asimétrica de volatilidad en presencia de straddles muestra 2018 .	34
A.6.	Componente de inventario en mercados líquidos y en mercados no líquidos 2017	35
A.7.	Componente de inventario en mercados líquidos y en mercados no líquidos 2018	35

Índice de Ilustraciones

3.1.	Ejemplo gráfico de los componentes de riesgo	8
A.1.	Correlación entre el impacto de inventario y el bid ask spread promedio de las opciones - 2017 y 2018	36
A.2.	Correlación entre el impacto de dirección y el bid ask spread promedio de las stocks - 2017 y 2018	36
A.3.	Correlación entre el impacto de dirección y el impacto de las stocks - 2017 y 2018	37

Capítulo 1

Introducción

El papel principal de las market-makers en los mercados de opciones es asegurar que los mercados funcionen sin problemas, al permitir que las inversionistas compren y vendan opciones fluidamente, lo que realizan manteniendo portafolios grandes con una amplia gama de contratos diferentes. En las transacciones, las market-makers compran al precio ask y venden al precio bid que eligen, generando ganancias con este ‘spread bid-ask’. Este spread lo establecen en función de los distintos riesgos a los que se ven enfrentadas en las operaciones diarias. La literatura de microestructura de mercado sugiere que la variación en los spreads de las market-makers es principalmente consecuencia de tres costos a los que se ven enfrentadas: costos fijos (o también llamados costos de procesamiento de órdenes), inventario e información asimétrica (Jameson et al., 1992). En esa línea, el inventario contiene riesgo ya que está expuesto a fluctuaciones de precios impulsadas principalmente por la volatilidad del mercado, y a la imposibilidad de proteger completamente el portafolio mediante estrategias de cobertura. La información asimétrica, a su vez, genera arbitrariedad en el mercado que las inversionistas intentan explotar contra las market-makers.

Muravyev (2016) reconoce y destaca la importancia de gestionar apropiadamente el riesgo de inventario, al encontrar que su impacto en los precios es mayor a lo que se pensaba previamente, incluso mayor que el del riesgo de información asimétrica. La literatura anterior muestra que la presión de compra está asociada con precios de opciones más altos, pero su magnitud económica es pequeña en comparación con otros factores, haciendo que el riesgo de inventario parezca ser de importancia secundaria. La diferencia en los resultados se debe a dos problemas metodológicos que resuelve Muravyev. En primer lugar, el flujo de órdenes y los precios son endógenos, por lo que factores simultáneos como las noticias afectan a ambos. En segundo lugar, además de tener un impacto por el riesgo de inventario, los desequilibrios de los flujos de órdenes también reflejan el comercio informado (Shleifer 1986) y se correlaciona con los cambios en los fundamentos económicos. Este problema se ignora comúnmente atribuyendo todo el desequilibrio a solo uno de estos tres factores. Por ejemplo, Pan y Poteshman (2006) atribuyen todo el desequilibrio de las órdenes a la información asimétrica, Bollen y Whaley (2004), y Garleanu, Pedersen, y Poteshman (2009) al riesgo de inventario, y Chen, Joslin y Ni (2014) a los fundamentos.

En el contexto del riesgo de información asimétrica, las inversionistas informadas eligen el mercado de opciones por el mayor leverage que ofrece (Black, 1975), y porque pueden esconder sus estrategias entre múltiples contratos disponibles para un mismo subyacente (Easley et al., 1988). Cuando una inversionista tiene información privada sobre una stock, ella puede explotarla a través de muchas combinaciones calls y puts a lo largo de un amplio rango

de precios strikes y maduresces. Esta información puede ser de distinta índole. Por ejemplo, inversionistas que predicen un alza en el precio de las stocks pueden tomar posiciones largas en opciones call y posiciones cortas en puts simultáneamente, mientras que inversionistas que predicen un alza en la volatilidad pueden tomar posiciones largas en ambas clases de opciones, al mismo tiempo que minimizan su exposición al movimiento de la stock (Holowczak et al., 2014). Debido a esto, encontrar la manera apropiada de identificar estas transacciones es crítico para las market-makers, ya que de esta manera pueden ajustar su spread bid-ask de acuerdo a la información que detectan en las órdenes.

En la literatura todavía no se ha estimado el impacto relativo que tienen la información asimétrica de dirección y volatilidad en la formación de los precios de las opciones. En todos los estudios se agrupa la información dentro de un mismo componente, sin diferenciar a qué tipo corresponde. Es por esto que esta tesis presenta un método que extiende el método de descomposición propuesto por Muravyev y separa el impacto en el precio de las opciones entre tres componentes: inventario, información asimétrica de dirección e información asimétrica de volatilidad. Los resultados de este análisis sugieren que los dos componentes de información son importantes en el impacto de los precios, y que en mi muestra tienen una importancia relativa superior a la del riesgo de inventario.

La idea principal, que se basa en Huang y Stoll (1997), es que las inversionistas reciben instantáneamente información idéntica sobre una transacción, mientras que sólo la market-maker en el mercado donde se ejecuta la transacción experimenta un cambio en el inventario. Por lo tanto, la respuesta del precio en el mercado de la transacción incluye los componentes de información asimétrica y de riesgo de inventario, mientras que el impacto del precio en los otros mercados contiene sólo los componentes de información asimétrica. Por otra parte, la información asimétrica puede verse reflejada tanto en la misma opción que fue transada, como en otras relacionadas al mismo subyacente, ya que la información acerca del subyacente también implica un riesgo para estos contratos. Sin embargo, como estas opciones tienen precios y exposiciones distintas (delta y vega) a la de la opción transada, sus impactos deben ser ajustados para que sean comparables con la información de la opción transada. La diferencia entre las respuestas de precios del mercado que recibió la transacción y el resto que respondió con la misma opción transada, identifica el componente de riesgo de inventario, mientras que las diferencias ajustadas entre las respuestas de las market-makers que respondieron con la misma opción transada, y una distinta del mismo subyacente (elegida arbitrariamente) identifica los componentes de información asimétrica de dirección y volatilidad. Los tres componentes de impacto de precios se pueden estimar empíricamente a partir de las respuestas de precios observadas. Se implementa formalmente esta idea ampliando el marco de Madhavan y Smidt (1991) a múltiples market-makers competitivos.

La interacción entre las transacciones y las quotes es clave para entender cómo y por qué cambian los precios. La literatura identifica dos razones por las que los precios publicados aumentan después de que un comprador inició una transacción. En primer lugar, las market-makers ajustan al alza sus creencias sobre el valor razonable, ya que la transacción podría contener información privada (por ejemplo, Glosten y Milgrom, 1985). En segundo lugar, las market-makers requieren una compensación por permitir que su posición de inventario se desvíe del nivel deseado y, por lo tanto, una market-maker aversa al riesgo acomodará una orden de compra posterior sólo a un precio más alto (por ejemplo, Stoll, 1978). Ambos argumentos implican que las quotes cambian en la dirección de la transacción, pero por diferentes razones.

Aplico este método extendido al mercado de opciones utilizando datos a nivel tick para

opciones de las 50 stocks con opciones más líquidas desde enero a abril de los años 2017 y 2018, en un ambiente de mercados completamente electrónicos. El método produce varios resultados. En primer lugar, contrariamente a Vijh (1990), encuentro que las transacciones de opciones tienen un impacto significativo en los precios. Por lo tanto, las transacciones de opciones contienen una gran cantidad de información nueva que impulsa los cambios en los precios de las opciones. En segundo lugar, aunque los tres impactos en los precios tienen un efecto significativo, los riesgos de información asimétrica de dirección y volatilidad tiene un mayor impacto en los precios (0.007 USD y 0.003 USD, respectivamente) que el riesgo de inventario (0.0026 USD). Por lo tanto, al menos en mi muestra, el riesgo de información juega un rol dominante en la formación de precios de opción. Este resultado implica que, si bien las market-makers de opciones están preocupadas de tener un portafolio subóptimo, están aún más preocupadas de las inversionistas informadas. En tercer lugar, los tres impactos en los precios son crecientes y cóncavos en el tamaño de la transacción. Por lo tanto, las grandes transacciones son más informativas que las transacciones medianas y pequeñas, lo que sugiere que las inversionistas de opciones ya no participan del ‘comercio fragmentado’, en el que las inversionistas informadas dividen sus transacciones de opciones, y las transacciones de tamaño medio son las más informadas (Anand y Chakravarty, 2007). En cuarto lugar, el precio de las stocks subyacentes responde a las transacciones de opciones al instante, y el impacto de las transacciones de opciones en el precio de las stocks subyacente es permanente y creciente en el tamaño de la transacción. Por lo tanto, las transacciones de opciones son informativas sobre el nivel de precio de los subyacentes. Por último, los tres componentes de impacto de precios dependen de los parámetros de las opciones y transacciones. En particular, los impactos de inventario e información de volatilidad son mayores para las opciones out-of-the-money y a corto plazo, mientras que el impacto de información de dirección es mayor en opciones in-the-money y en transacciones iniciadas por el comprador.

En una segunda prueba, extendiendo el análisis a transacciones que son parte de una straddle, la cual es una estrategia que intenta explotar la información de volatilidad del precio del subyacente. Mediante un algoritmo, detecto estas estrategias en la muestra y estimo las respuestas de las market-makers bajo estos eventos. Los resultados muestran que las market-makers efectivamente responden con un mayor impacto de información de volatilidad ante la presencia de esta estrategia de volatilidad, siendo mayor respecto a la muestra completa y a las transacciones con opciones at-the-money, que son las que se suelen transarse en los straddles.

El resto del documento se organiza de la siguiente manera. En el capítulo 2, ofrezco una breve revisión de la literatura de opciones relacionada. En el capítulo 3, presento el método de Muravyev extendido, en los capítulos 4 y 5 lo aplico al mercado de opciones, mientras que el capítulo 6 concluye. En el Anexo presento el modelo extendido, los resultados de los cambios esperados del precio, y los resultados para el año 2018

Capítulo 2

Literatura

Esta tesis se basa en el estudio realizado por Muravyev (2016), que propone un método innovador para estimar los impactos de riesgo de inventario e información asimétrica en el precio de las opciones. Mi modelo extiende el método de Muravyev al separar el componente de información asimétrica entre información de dirección y volatilidad del subyacente. A continuación, se realiza un repaso de la literatura que recopiló Muravyev para desarrollar su modelo, junto a la nueva utilizada para esta tesis.

La literatura sobre la interacción entre los precios de las opciones y las transacciones es escasa. El enfoque utilizado por Muravyev es cercano en objetivo al de Vijh (1990) y Berkman (1996), que estudian el impacto en los precios de las grandes transacciones de opciones. Vijh no encuentra ningún impacto en los precios para una muestra de 137 grandes transacciones de opciones de CBOE en 1985, mientras que Berkman encuentra resultados similares para 456 transacciones de EOE en Amsterdam en 1989. Desde entonces, el mercado de opciones se ha orientado hacia el comercio electrónico y se ha vuelto mucho más líquido. Con una muestra mucho más grande (7 millones de transacciones) Muravyev demuestra que el impacto en el precio es positivo y significativo. La base utilizada para esta tesis también es grande en relación a los estudios previos a Muravyev, y tiene la particularidad de que contiene precios de 15 mercados estadounidenses electrónicos. Una similitud entre estos papers y mi tesis es que estudiamos el impacto en los precios directamente para una submuestra de transacciones ‘limpias’. En otro paper relacionado, Chan, Chung y Fong (2002) concluyen que toda la información en el mercado de opciones está contenida en las revisiones de las quotes y ninguna en las transacciones de las opciones. Por el contrario, mis resultados y los de Muravyev sugieren que las transacciones de opciones son bastante informativas.

La tesis también está relacionada con la literatura sobre los determinantes del spread bid-ask en el mercado de opciones. Los primeros papers documentan cómo el spread bid-ask de las opciones dependen de los parámetros de la opción. George y Longstaff (1993) muestran que el spread bid-ask en dólares es creciente en la moneyness de la opción y el tiempo a expiración. Además de este efecto de primer orden, Jameson y Wilhelm (1992) encuentran que el spread aumenta en medidas de convexidad como gamma y vega, pero la convexidad explica una porción relativamente pequeña del spread. Estos hechos son importantes pero difíciles de interpretar. El spread bid-ask consta de tres componentes: costos fijos (también denominados ‘costos de procesamiento de órdenes’), riesgo de inventario e información asimétrica. ¿Las opciones in-the-money tienen spreads más grandes porque las inversionistas informadas las prefieren o como causa de un mayor riesgo de inventario? La literatura no ofrece una respuesta concluyente, pero la variación de los costos fijos entre las clases de opciones es la explicación

más probable. El costo fijo de establecer la cobertura delta (Cho y Engle, 1993) y mantenerla (reequilibrio de los costos en Boyle y Vorst, 1992, Engle y Neri, 2010) puede explicar una parte significativa del spread para las opciones in-the-money y at-the-money, respectivamente. Por ejemplo, Kaul, Nimalendran y Zhang (2004) encuentran que los costos iniciales de cobertura explican aproximadamente la mitad del spread de la opción. Sin embargo, los costos del riesgo de inventario no habían sido estudiados en gran medida hasta Muravyev. Estos costos deben distinguirse de los costos de replicación (cobertura). Por ejemplo, una market-maker neutra en el riesgo no está preocupado del riesgo de inventario, sino que incurre en todos los costos fijos de replicación. Los costos de replicación dependen del spread bid-ask del subyacente y del tamaño esperado de las transacciones de cobertura, y por lo tanto forman parte del costo fijo y afectan al spread bid-ask de la opción, pero no al punto medio de las quotes. Por el contrario, el riesgo de inventario es impulsado por la volatilidad residual del portafolio de cobertura, y dado que el inventario de un market-maker cambia de transacción a transacción, el riesgo de inventario afecta tanto al spread como al precio.

La información asimétrica, por su parte, también es un fenómeno ampliamente estudiado. Cao y Wei (2010) muestran evidencia que la información privada es uno de los principales componentes del spread bid-ask. Christoffersen, Goyenko, Jacobs y Karoui (2018) concluyen que la información y los costos de cobertura (baja liquidez del subyacente, desequilibrio de las órdenes y riesgo de inventario) explican el spread significativamente. Chakravarty, Gulen y Mayhew (2004) muestran que las inversionistas informadas transan tanto en el mercado de stocks como en el de opciones. Kaul, Nimalendran y Zhang (2004) presentan evidencia de comercio estratégico entre agente informados. Anand y Chakravarty (2007) encuentran comercio fragmentado, y Bernales, Cañón y Verousis (2018) muestra que las inversionistas informadas esconden sus estrategias en mercados de opciones líquidos.

Esta tesis también utiliza un conjunto de datos más grande y reciente que la mayoría de la literatura de spread bid-ask de opciones. La literatura normalmente se basa en aproximadamente un mes de datos de fines de la década de 1990, cuando el mercado de opciones tenía una estructura de mercado muy diferente y se enfrentaba a una menor liquidez. Por ejemplo, Cho y Engle (1993) utilizan 180,239 transacciones de opciones de mayo de 1993. Kaul, Nimalendran y Zhang (2004) utilizan 182,605 observaciones de febrero de 1995. Engle y Neri (2010) utilizan datos de nueve acciones de cuatro días en 2007. En comparación, mi muestra final consiste en más de 1,474,999 de opciones para 50 stocks de cuatro meses de los años 2017 y 2018. Engle y Neri enfatizan que el problema actual es que los datos de opciones ‘plantan un problema técnico en términos de energía informática’.

Capítulo 3

Método de Descomposición del Impacto en el Precio

3.1. Idea

A continuación se explica la intuición general detrás del modelo propuesto, mientras que en la sección siguiente se presenta formalmente. En primer lugar, se tiene que las inversionistas informadas pueden utilizar la asimetría en la información tanto en el mercado de acciones como en el mercado de opciones. En el mercado de acciones pueden especular respecto a la dirección del precio del subyacente, mientras que en el mercado de opciones, además de poder realizar apuestas respecto a la dirección del precio de la acción, también pueden generar estrategias que exploten la volatilidad en el futuro precio del subyacente. Es precisamente este último mercado en el que nos vamos a concentrar para realizar el estudio, ya que las mismas market-makers que realizan las transacciones son las que luego mueven los precios de sus otros contratos para cubrirse del riesgo de información asimétrica, ya sea de dirección o volatilidad. Es más, la market-maker que acaba de ejecutar una orden además debe ajustar el precio por el riesgo que implica haber alterado su posición de inventario, lo que se traduce en un tercer componente a considerar en la formación del siguiente precio.

Para comprender de mejor manera la intuición, consideremos que tenemos cinco market-makers competitivas: tres de ellas, A, B y C, publican precios bid y ask para una misma opción O en tres mercados de opciones distintos, y las dos restantes, D y E, publican precios bid y ask para una opción distinta a la cotizada por las market-makers A, B y C, O^* , en otros dos mercados. En teoría, las market-makers D y E, podrían ser las mismas market-makers A, B o C, que simplemente están cotizando precios para las dos opciones O y O^* , pero para simplificar la explicación de la idea, asumamos que son cinco market-makers distintas. Ahora imaginemos que en tiempo t llega una orden de compra para la opción O al mercado A (o a la market-maker A), y que justo antes que llegara esta transacción las market-makers A, B y C estaban publicando el mismo precio ask a para el contrato O , y que las market-makers D y E estaban publicando el mismo precio ask a^* para el contrato O^* . Además, asumamos que el número de contratos que estaba ofreciendo la market-maker A es superior al tamaño de la orden, de lo contrario la transacción aumentaría automáticamente el precio de la opción en el mercado A.

La transacción en tiempo t cambia la posición de inventario de la market-maker A en la opción O , mientras que el inventario de B, C, D y E no cambia. Sumado a esto, la inversionista que ejecutó esta orden de compra podría manejar información acerca del subyacente,

ya sea de que su precio va a subir o bajar, de que su precio va a experimentar volatilidad, o ambas; información que es aprendida instantáneamente por todas las market-makers. Como consecuencia de esto, la market-maker A aumenta el precio a para cubrirse de los tres riesgos que enfrenta luego de la transacción: información asimétrica de volatilidad, información asimétrica de dirección, e inventario. Las market-makers B y C, por su parte, también aumentan el precio a , pero solo como respuesta a los dos componentes de información asimétrica, al igual que las market-makers D y E, que cambian el precio a^* de la opción O^* como respuesta a estos mismos dos componentes de riesgo (el inventario de estas cuatro market-makers no cambia). Las market-makers D y E cambian el precio del contrato O^* , ya que está relacionada al mismo subyacente que la opción O , lo que implica que la información asimétrica contenida en la transacción también le afecta a O^* . Debido a que el contrato O^* tiene características distintas al contrato O , el tamaño de las respuestas de los precios pueden ser no comparables entre sí si es que antes no se realizan los ajustes α_1 y α_2 (más adelante se explica con mayor detalle) a los impactos de la opción O^* . Estas respuestas instantáneas de las market-makers se enmarcan dentro del contexto moderno de los mercados electrónicos, en el que las cinco market-makers pueden aprender simultáneamente la misma información proveniente de las transacciones. La intuición puede ser resumida de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
\Delta p^A &= PI(Inventory) + PI(Directional Information) + PI(Volatility Information) \\
\frac{(\Delta p^B + \Delta p^C)}{2} &= Inf^O = PI(Directional Information) + PI(Volatility Information) \\
\frac{(\Delta p^D + \Delta p^E)}{2} &= Inf^{O^*} = \alpha_1 \cdot PI(Directional Information) + \alpha_2 \cdot PI(Volatility Information)
\end{aligned} \tag{3.1}$$

donde $PI()$ denota los impactos en los precios que se le atribuye a cada componente, Δp^i es el cambio en el precio para la market-maker i entre los momentos t y $t+\Delta t$, y Inf^O y Inf^{O^*} son las informaciones provenientes de las opciones O y O^* , respectivamente. Como los impactos en los precios de las distintas market-makers pueden ser distintos, Inf^O es el promedio de los impactos de los precios de las market-makers B y C, y Inf^{O^*} es el promedio de los impactos de los precios de las market-makers D y E. El periodo de evaluación Δt es definido en 5 segundos en la mayoría de las pruebas empíricas, ya que le da tiempo suficiente a las market-makers para reaccionar en los precios, al mismo tiempo que se limita la interferencia entre múltiples transacciones.

La ecuación (3.1) se puede resolver para los 3 componentes de impacto en el precio:

$$\begin{aligned}
PI(Inventory) &= \Delta p^A - Inf^O \\
PI(Volatility Information) &= \frac{1}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot Inf^{O^*} - \frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot Inf^O \\
PI(Directional Information) &= \frac{\alpha_2}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot Inf^O - \frac{1}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot Inf^{O^*}
\end{aligned} \tag{3.2}$$

El componente de inventario es la diferencia entre la respuesta del precio de la market-maker A y la respuesta promedio de las market-makers B y C (o información proveniente de la opción O), mientras que los componentes de información asimétrica son el resultado de diferencias entre las respuestas promedios de las market-makers B y C, y market-makers D y E (o información proveniente de la opción O^*), ajustados por α_1 y α_2 .

En la Figura 1, a continuación, se describe gráficamente la intuición.

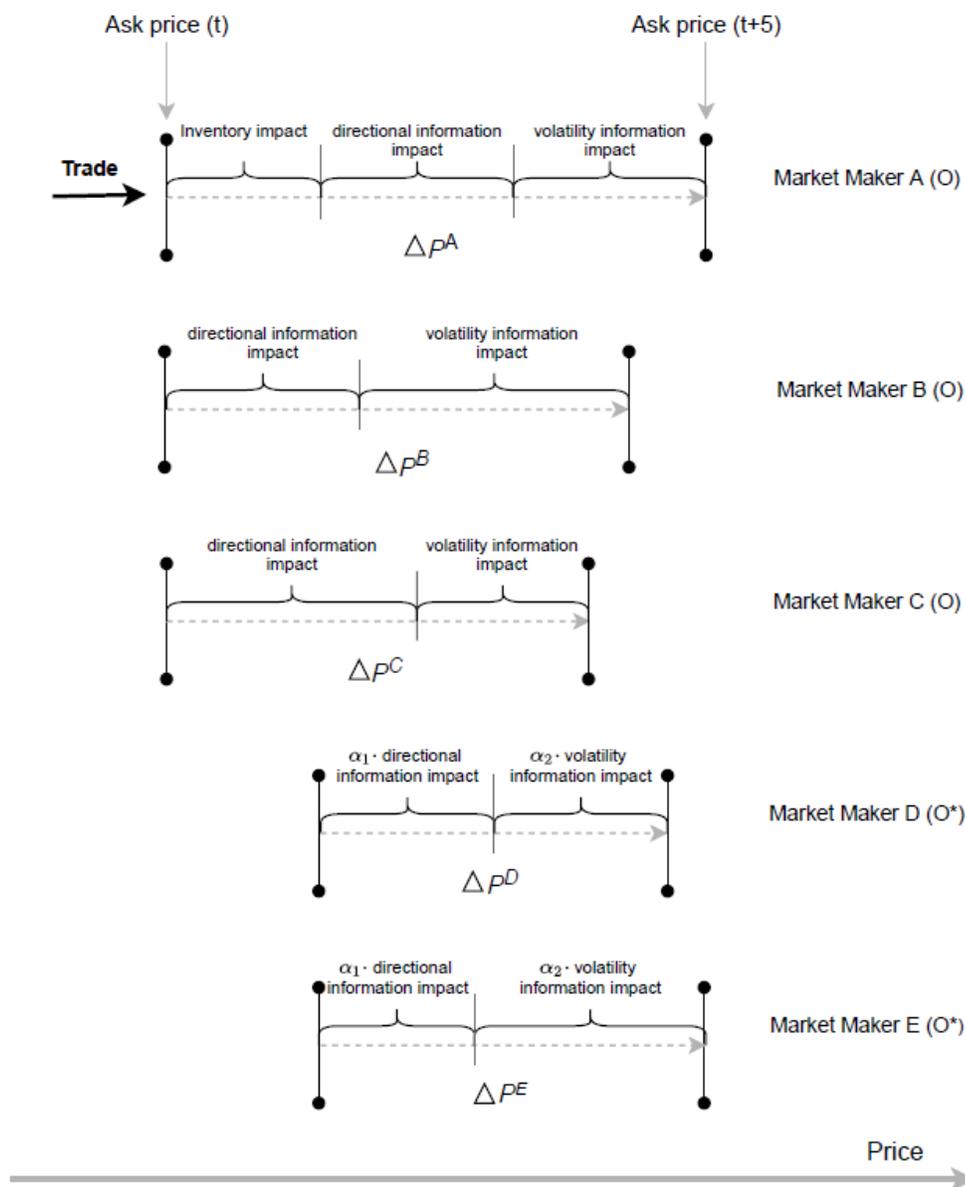


Figura 3.1: Ejemplo gráfico de los componentes de riesgo

Ejemplo de cómo los dos componentes de información asimétrica y el riesgo de inventario son estimados luego de una orden iniciada por un comprador. *Tres market-makers del mercado de opciones (A, B y C) están publicando el mejor precio ask para la opción O, y otras dos (D y E) publican el mejor precio ask para la opción O* cuando la market-maker A recibe una orden de compra en tiempo t. Los impactos en los precios son calculados entre el tiempo t y tiempo t+5. La market-maker A responde al riesgo de inventario, información asimétrica de dirección e información asimétrica de volatilidad, las market-makers B y C reaccionan a ambos componentes de información asimétrica (no hay cambio en sus posiciones de inventario), al igual que las market-makers D y E, sin embargo, a estos componentes hay que realizarles un ajuste para que sean comparables con los impactos de la opción O.*

3.2. Modelo

En primer lugar, las market-markers comparten una creencia común μ_t^O acerca del valor razonable de una opción O en tiempo t . Luego de la compra de esta opción, las market-makers cambian su creencia en función de tres componentes: información pública F_t todavía no incorporada en los precios, flujo de órdenes no previstos ($x_t - \mathbb{E}(x_t|F_t)$), e innovaciones en las creencias ϵ_t :

1. Las creencias a menudo responden lentamente a la información pública, por lo que $\mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t)$ representa los cambios en el precio de la opción O entre t y $t+5$ causados por la información todavía no incorporada en la formación de precios.
2. Las transacciones proveen información, ya que las inversionistas podrían estar transando en función de información privada. Luego de la compra de la opción, las market-makers aumentan su estimación del valor razonable en ($x_t - \mathbb{E}(x_t|F_t)$), donde el flujo de órdenes inesperado es multiplicado por los parámetros de información asimétrica de dirección θ_1 y volatilidad θ_2 (ambos positivos), según corresponda.
3. El flujo de información pública al mercado causa revisiones en las creencias cuando no hay transacciones. ϵ_t denota las innovaciones en las creencias entre t y $t + 5$ debido a la nueva información pública. Se asume que ϵ_t tiene promedio cero y no está relacionado con el proceso transaccional.

Combinando los tres componentes, las creencias de las market-makers evolucionan de acuerdo a

$$\mu_{t+5}^O - \mu_t^O = \Delta\mu_t^O = \mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t) + \theta_1(x_t - \mathbb{E}(x_t|F_t)) + \theta_2(x_t - \mathbb{E}(x_t|F_t)) + \epsilon_t \quad (3.3)$$

Las market-markers publican sus precios condicionantes a que puedan recibir una transacción. Además, todas comparten una creencia común acerca del valor razonable de la opción. Sin embargo, sus posiciones de inventario actuales I_t y posiciones de inventario deseadas I_d del contrato varían entre ellas, lo que en definitiva impacta en los precios ask y bid que publican.

Por otro lado, las market-makers también enfrentan costos fijos $\varphi > 0$ por cada contrato, y potenciales ruidos microestructurales ϑ_t (la cual tiene promedio cero y no está correlacionada con las otras variables) provocados por el tamaño del tick y otras fricciones. De esta manera los precios ask y bid de la opción O que publica la market-maker i en tiempo t , previo a la llegada de una orden, se puede denotar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} p_{t,i}^{a,O} &= \mu_t^O + \theta_1(X - \mathbb{E}(x_t|F_t)) + \theta_2(X - \mathbb{E}(x_t|F_t)) - \gamma(I_{t,i} - X - I_{d,i}) + \varphi \cdot X + \vartheta_{t,i}^{a,O} \\ p_{t,i}^{b,O} &= \mu_t^O + \theta_1(-X - \mathbb{E}(x_t|F_t)) + \theta_2(-X - \mathbb{E}(x_t|F_t)) - \gamma(I_{t,i} + X - I_{d,i}) - \varphi \cdot X + \vartheta_{t,i}^{b,O}, \end{aligned} \quad (3.4)$$

donde la mitad del spread bid-ask es igual a

$$ba_{t,i}^O = \frac{1}{2}(p_{t,i}^{a,O} - p_{t,i}^{b,O}) = (\theta_1 + \theta_2 + \gamma + \varphi) \cdot X + \frac{1}{2}(\vartheta_{t,i}^{a,O} - \vartheta_{t,i}^{b,O}) \quad (3.5)$$

Asumamos ahora que la market-maker i ejecuta una orden de compra de una opción en tiempo t (el ejercicio para una orden de venta se encuentra en el anexo). Como resultado de esta transacción, las market-makers definirán sus precios ask de acuerdo a las ecuaciones (3.4) y (3.5) en t y $t+5$. Hay que tener en consideración que el grado de cambio en el precio ask, luego de una orden de compra, difiere entre la market-maker que realizó la transacción (“ i ”) y las otras que no experimentaron cambios en su inventario (“ i ”). En primer lugar, la market-maker que vendió X contratos (orden de compra) aumenta su riesgo de inventario en X y el precio ask aumenta en

$$\begin{aligned} \Delta p_{t,i}^{a,O} &= \mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t) + \theta_1(X - \mathbb{E}(x_t|F_t)) + \theta_2(X - \mathbb{E}(x_t|F_t)) + \gamma \cdot X + \epsilon_{t+5} \\ &+ (\vartheta_{t+5,i}^{a,O} - \vartheta_{t,i}^{a,O}), \end{aligned} \quad (3.6)$$

mientras que las market-makers que no transaron reciben la misma información que la market-maker i , pero no cambian su posición de inventario, por lo que el incremento en su precio ask está representado por

$$\begin{aligned} \Delta p_{t,i-}^{a,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1(X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \theta_2(X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \gamma \cdot 0 + \epsilon_{t+5} \\ &+ (\vartheta_{t+5,i-}^{a,O} - \vartheta_{t,i-}^{a,O}). \end{aligned} \quad (3.7)$$

Por otra parte, las market-makers que están publicando precios para una opción O^* distinta a O observan la transacción realizada por la market-maker i y también responden con el precio de su contrato. Sin embargo, la variación en el precio de esta opción no es perfectamente comparable con la variación en el precio de la opción O sin antes realizar un ajuste. Las opciones están expuestas a los cambios en el precio del subyacente, cuyo grado de dependencia se mide a través de la métrica de riesgo delta δ . Debido a esto, la respuesta de las market-makers a la información asimétrica de dirección sobre el precio del subyacente va a ser distinta para distintos deltas. Por ejemplo, si la transacción en t fuera de una opción in-the-money (ITM), una market-maker cotizando esta misma opción tendería a reaccionar en mayor grado que una market-maker cotizando una opción out-of-the-money (OTM) del mismo subyacente, ya que la primera implica un mayor riesgo. Lo mismo ocurre con los vegas ν para la información de volatilidad. Las opciones con vegas altos están más expuestas a información asimétrica de volatilidad que las de vegas bajos, lo que luego se vería reflejado en las respuestas de las market-makers a una transacción. Por estas razones es que se hace necesario realizar ajustes a los componentes de información de dirección y volatilidad a través de los δ y ν de las opciones, respectivamente.

Sumado a esto, para que el análisis sea preciso la opción O^* que se está analizando no debe haber sido transada entre $t-5$ y t , ya que de no ser así, las respuestas de las market-makers cotizando esta opción podrían contener el componente de inventario. En este caso no es necesario distinguir entre las market-makers “ i ” y “ $i-$ ”, ya que se podrían considerar los impactos de cualquiera de ellas para la opción O^* , mientras no la hayan transado inmediatamente antes de t . De este modo, luego de una transacción de la market-maker i de la opción O , las market-makers publicando precios para la opción O^* responden de la siguiente manera en su precio ask:

$$\begin{aligned} \Delta p_t^{a,O^*} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^{O^*} | F_t) + \theta_1 \cdot \frac{\delta_t^{O^*}}{\delta_t^O} \cdot (X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \theta_2 \cdot \frac{\nu_t^{O^*}}{\nu_t^O} \cdot (X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \gamma \cdot 0 \\ &+ \epsilon_{t+5,S} + (\vartheta_{t+5}^{a,O^*} - \vartheta_t^{a,O^*}) \end{aligned} \quad (3.8)$$

De manera de simplificar la notación de las ecuaciones (3.6), (3.7) y (3.8), se asume que la llegada de una orden de compra y una orden venta son igualmente probables, por lo que $\mathbb{E}(x_t | F_t) = 0$ y que los términos de error y ruido de microestructura se combinan dentro de un término único $\epsilon_{t+5,i} = \epsilon_{t+5} + (\vartheta_{t+5,i-}^a - \vartheta_{t,i-}^a)$ que tiene una media igual a cero por construcción. Además, al elegir una opción O^* que tenga la misma clase (call o put) que la opción O se puede omitir el valor absoluto del ajuste del componente de dirección. Así, las respuestas de los precios de las market-makers luego de una transacción de compra, se puede reescribir mediante la siguiente notación:

$$\begin{aligned} \Delta p_{t,i}^{a,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1 X + \theta_2 X + \gamma X + \epsilon_{t+5,i} \\ \Delta p_{t,i-}^{a,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1 X + \theta_2 X + \epsilon_{t+5,i-} \\ \Delta p_t^{a,O^*} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^{O^*} | F_t) + \theta_1 \cdot \frac{\delta_t^{O^*}}{\delta_t^O} \cdot X + \theta_2 \cdot \frac{\nu_t^{O^*}}{\nu_t^O} \cdot X + \epsilon_{t+5}^{O^*} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Los tres impactos dependen de los cambios esperados en el precio $\mathbb{E}(\Delta \mu_t | F_t)$ y del ruido de microestructura ϵ_{t+5} . El ruido de microestructura ϵ tiene promedio cero y, por lo tanto, puede ser

eliminado al tomar un promedio sobre un gran número de transacciones, sin embargo, el cambio esperado en el precio de la opción no puede ser promediado de la misma manera y debe ser estimado adecuadamente. Las inversionistas no ejecutan sus transacciones aleatoriamente, sino que esperan el momento preciso (Hasbrouck 1991). En particular, ellas compran cuando se espera que el precio de la opción vaya a aumentar $\mathbb{E}(\Delta\mu_t|F_t) > 0$, y venden cuando se espera que el precio vaya a disminuir $\mathbb{E}(\Delta\mu_t|F_t) < 0$. Teniendo todo esto en consideración, las ecuaciones (3.9) quedarían de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\mathbb{E}(\Delta p_{t,i}^{a,O}) &= \mathbb{E} \left[\mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t) + \theta_1 X + \theta_2 X + \gamma \cdot X \right] \\ \mathbb{E}(\Delta p_{t,i}^{a,O^-}) &= \mathbb{E} \left[\mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t) + \theta_1 X + \theta_2 X \right] \\ \mathbb{E}(\Delta p_{t,i}^{a,O^*}) &= \mathbb{E} \left[\mathbb{E}(\Delta\mu_t^{O^*}|F_t) + \theta_1 \cdot \frac{\delta_t^{O^*}}{\delta_t^O} \cdot X + \theta_2 \cdot \frac{\nu_t^{O^*}}{\nu_t^O} \cdot X \right]\end{aligned}\tag{3.10}$$

Ahora se pueden generalizar las ecuaciones para considerar tanto las transacciones de compra como de venta, lo que requiere una nueva notación. El indicador de la dirección de la transacción I_i^{BS} es 1 para las transacciones de compra y -1 para las ventas. La respuesta del precio $\Delta p_{t,i}^{BS}$ se calcula en función de los precios ask $\Delta p_{t,i}^a$ para las compras y en función de los precios bid $\Delta p_{t,i}^b$ para las ventas. Luego, resolviendo las ecuaciones (3.10), los tres componentes de los impactos de los precios son

$$\gamma \cdot X = \mathbb{E} \left[I_i^{BS} \cdot (\Delta p_{t,i}^{BS,O} - \Delta p_{t,i}^{BS,O^-}) \right]\tag{3.11}$$

Riesgo de inventario

$$\theta_1 \cdot X = \frac{\nu_t^{O^*} \cdot \delta_t^O}{\nu_t^{O^*} \cdot \delta_t^O - \nu_t^O \cdot \delta_t^{O^*}} \cdot Inf_{t,-i}^{BS,O} - \frac{\nu_t^O \cdot \delta_t^O}{\nu_t^{O^*} \cdot \delta_t^O - \nu_t^O \cdot \delta_t^{O^*}} \cdot Inf_{t,-i}^{BS,O^*}\tag{3.12}$$

Información asimétrica de dirección

$$\theta_2 \cdot X = \frac{\nu_t^O \cdot \delta_t^O}{\nu_t^{O^*} \cdot \delta_t^O - \nu_t^O \cdot \delta_t^{O^*}} \cdot Inf_{t,-i}^{BS,O^*} - \frac{\nu_t \cdot \delta_t^{O^*}}{\nu_t^{O^*} \cdot \delta_t^O - \nu_t^O \cdot \delta_t^{O^*}} \cdot Inf_{t,-i}^{BS,O}\tag{3.13}$$

Información asimétrica de volatilidad

donde

$$Inf_{t,-i}^{BS,O} = \mathbb{E}[I_i^{BS} \cdot (\Delta p_{t,-i}^{BS,O} - \mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t))]\tag{3.14}$$

$$Inf_{t,-i}^{BS,O^*} = \mathbb{E}[I_i^{BS} \cdot (\Delta p_{t,-i}^{BS,O^*} - \mathbb{E}(\Delta\mu_t^{O^*}|F_t))]\tag{3.15}$$

representan la información proveniente de la opción O y O^* , respectivamente.

El componente de riesgo de inventario es la diferencia entre las respuestas de la market-maker que transó la opción O , y las market-makers que cotizaban la opción O pero que no la transaron en tiempo t , ajustado por la dirección de la transacción. El componente de información asimétrica de dirección se calcula a través de la diferencia entre las respuestas de las market-makers que cotizaban la opción O y no la transaron, y las market-makers que cotizaban la opción O^* y tampoco la transaron, con ambas medidas ponderadas por los parámetros δ y ν , y ajustadas por la dirección de la transacción. Finalmente, en el componente de información asimétrica de volatilidad se invierte la diferencia del componente de dirección y se cambia la ponderación de uno de sus términos.

En la siguiente subsección detallo el método para calcular el cambio esperado del precio de la opción $\mathbb{E}(\Delta\mu_t|F_t)$. En particular, estimo la regresión de Muravyev (2016) para el cambio esperado, la cual se basa en datos históricos e incorpora e implementa la información pública disponible justo antes de una transacción para generar el cambio esperado del precio de la opción transada.

A continuación, selecciono un subconjunto de todas las transacciones que satisfacen una serie de supuestos. Específicamente, selecciono aquellas transacciones en las que al menos dos mercados están publicando el mejor precio en la dirección de la transacción, los cuales utilizo para calcular las respuestas de los precios. Para cada transacción elegida computo las fórmulas que están dentro de las esperanzas al lado derecho de las ecuaciones (3.11), (3.12) y (3.13). Finalmente, el promedio de todas las respuestas individuales producen los estimadores finales γ , θ_1 y θ_2 de inventario e información asimétrica.

3.3. Cambios esperados en el precio

El cambio esperado hace referencia a cuánto debería cambiar el precio ask (bid) de una opción en un mercado (dentro de los próximos cinco segundos) si es que ninguna transacción de compra (venta) llegara. Este cambio en el precio es predicho por una serie de variables explicatorias. En primer lugar, el cambio depende de la historia reciente de los precios de la opción y de su subyacente. Para incorporar estos efectos, se toman los últimos doce cambios del precio de la opción y los últimos doce cambios del precio de la stock ajustados por delta, es decir, se consideran los impactos desde un minuto antes de la transacción y cada cinco segundos se considera un cambio. En segundo lugar, el futuro cambio en el precio depende también de la desviación actual del precio de la opción al punto medio de las quotes. Esto se representa mediante la diferencia entre el precio ask (bid) posteados por la market-maker i y el punto medio promedio a lo largo de todos los mercados. En ese sentido, esta variable puede ser considerada como una medida del spread bid-ask. Si el precio ask está cerca (lejos) del punto medio, luego el precio ask tiene más probabilidad de aumentar (disminuir) convergiendo a su promedio. Estas son las variables más importantes que logran incorporar la información pública disponible F_t ; aunque de todas formas podrían existir otras variables que mejoran la predictibilidad (para mayor detalle sobre esta regresión revisar el anexo):

$$\mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t) = \beta_0 + \beta_1(p_{t,i}^{a,O} - \mu_t^{BBO}) + \sum_{n=1}^{12} \beta_{n+1}(\Delta_{t-5n}^O \cdot \Delta S_{t-5n}) + \sum_{n=1}^{12} \beta_{n+13} \Delta p_{t-5n}^{a,O} + \epsilon_{t,i} \quad (3.16)$$

Regresión para calcular el cambio esperado en el precio de una opción

3.4. Supuestos

En esta sección resumo los supuestos que Muravyev utilizó para desarrollar su modelo y que extiendo a este nuevo modelo:

1. ***Los mercados son transparentes, la información está estandarizada y es difundida instantáneamente.*** Hoy en día con los mercados electrónicos modernos, las inversionistas tienen acceso a información en tiempo real de los mejores precios en todos los mercados. Además, como muchas de las contrapartes son anónimas, las inversionistas ahora acceden a menos información asimétrica que antes, por lo que se reducen las posibilidades de arbitrariedad en las transacciones. Todas reciben un mensaje estandarizado con información de las transacciones en menos de un segundo y los precios son publicados mediante algoritmos computarizados, por lo que, en definitiva, los mercados de opciones son al menos tan transparentes y tecnológicamente desarrollados que los mercados de stocks.
2. ***La liquidez la proveen principalmente las market-makers.*** En los mercados de opciones, las market-makers transfieren liquidez no solo a través del tiempo sino a que a lo largo de diferentes opciones. Con cientos de contratos disponibles para un mismo subyacente, es baja la probabilidad de que dos inversionistas elijan el mismo contrato en el mismo instante, por lo que es bastante probable que deban transar con una market-maker.

3. ***Las market-makers no intercambian inventario directamente entre ellas.*** En los mercados over-the-counter era común que las dealers transaran directamente entre ellas luego de grandes transacciones iniciadas por clientes, para así poder compartir inventario a través de pequeñas transacciones. Si este fuera el caso en el mercado de opciones, todas las market-makers recibirían una porción de inventario luego de las transacciones y el método de descomposición acá utilizado subestimaría el componente de inventario y sobre estimaría los dos componentes de información asimétrica. Muravyev prueba que esta práctica no es común en el mercado de opciones, ya que muestra que el 59% de las transacciones no tiene otra transacción cerca, y que las transacciones no son más probables luego de transacciones de gran volumen.
4. ***Muchas market-makers competitivas operan en el mercado de opciones.*** La interacción estratégica entre las market-makers es limitada si es que son totalmente competitivas, porque en este caso publican precios que las hacen indiferentes entre transar y no transar en cualquier momento. Los precios se establecen condicionados a recibir una orden en la ecuación (3.4), y por lo tanto, no dependen de la probabilidad de recibirla, es decir, los precios publicados son los mismos independientemente de cuántas market-makers estén en la parte superior del libro. Por ejemplo, si tres market-makers publican el mismo mejor precio de compra y llega una orden de compra, las dos market-makers que no transaron aumentarán el precio, no sólo debido a la información asimétrica, sino también porque dos market-makers tienen más poder de mercado que tres. Por lo tanto, este método subestimaría el componente de riesgo de inventario y sobre estimaría los impactos de información asimétrica en el caso de competencia imperfecta. Empíricamente, la competencia es alta en el mercado de opciones: para la mayoría de las transacciones, al menos siete market-makers publican el mejor precio. Además, en lugar de fijar manualmente los precios, las market-makers confían en los programas informáticos, lo que dificulta la implementación de interacciones estratégicas.
5. ***Múltiples market-makers a menudo publican el mismo mejor precio.*** Esto lo hacen como consecuencia del gran tamaño del tick, lo que también permite identificar correctamente las direcciones de las transacciones al tener una serie de market-makers publicando el mismo precio al que se ejecutó la transacción.

Capítulo 4

Data y construcción de la muestra

4.1. Descripción de la data

La data a nivel tick fue recopilada desde OPRA, la cual es un comité de representantes de los mercados, que provee información de las últimas ventas y actuales quotes de las opciones. La data contiene todas las quotes y transacciones para 50 stocks y sus opciones de enero febrero, marzo y abril de 2017 y 2018. Las stocks seleccionadas son las 50 stocks más líquidas de 2016 y 2017, basado en sus volúmenes transaccionales. La data es recopilada con una precisión de nanosegundos desde todos los mercados de opciones de Estados Unidos, y OPRA reporta el precio de las transacciones, los mercados, tamaños, tipos de transacciones, y los precios ask, bid y NBBO. Los resultados para el año 2018 se presentan en el anexo.

OPRA también ofrece data con las quotes cada cinco segundos de todos los mercados. Estas bases de datos muestran en cada instante las actualizaciones de precios de los mercados, de la cual se obtiene la información que se envía al sistema NBBO. De manera de mantener la consistencia con los filtros y clasificación diaria de los contratos de opciones, se utilizó la data diaria de Optionmetrics, ya que las griegas proporcionadas por OPRA varían a lo largo del día como consecuencia de la alta volatilidad de los precios de las opciones. Optionmetrics es una fuente común de precios diarios, estadísticas, y parámetros de los mercados de opciones de Estados Unidos.

4.2. Filtros

Siguiendo a Muravyev [2016], se realizan una serie de filtros en las transacciones para construir la muestra final. En primer lugar, se eliminan todas las opciones ilíquidas o que pueden presentar comportamientos irregulares:

- (a) Las opciones deben tener un tiempo a expiración entre 10 y 400 días.
- (b) Las opciones deben tener un delta absoluto entre 0.2 y 0.8 y un vega menor a 0.3 (30%). Esto para que opciones con al menos algo de ‘opcionalidad’ sean seleccionadas.
- (c) La hora de transacción debe estar entre las 9:35 y 15:55. Los primeros y últimos 5 minutos de transacciones son excluidos para evitar rotaciones de apertura y cierre en los precios.

Además, es necesario aplicar los siguientes filtros requeridos por el modelo:

- (d) Al menos dos mercados (incluyendo el que realiza la transacción) deben estar posteando el precio NBBO al que fue transada la opción; de lo contrario no es posible diferenciar los componentes de inventario e información.
- (e) El tamaño de la transacción debe ser menor a la cantidad de contratos que estaba ofreciendo la market-maker al momento de la transacción. Esta condición evita cambios mecánicos en los precios producto de la falta de stock.

- (f) El precio medio (promedio entre bid y ask) debe ser mayor que 20 centavos para evitar outliers en los impactos, los cuales se normalizan por el precio de la opción.
- (g) Se eliminan impactos en los precios superiores a 50 %, los cuales se consideran outliers.

Finalmente, de manera de realizar un mejor tratamiento de datos y así evitar outliers, para esta tesis se aplicaron algunos filtros adicionales, los que se describen a continuación:

- (h) Para cada transacción se consideran solo los cinco mercados más líquidos del contrato transado para estimar los impactos. Los mercados más líquidos se calculan como el porcentaje de contratos (con un mismo subyacente) que se transó en cada mercado. Debido a esto, todos los contratos relacionados a un mismo subyacente tienen los mismos cinco mercados más líquidos. Se eligen los mercados con la mayoría de las transacciones de manera de evitar respuestas poco representativas de market-makers con baja porción de mercado.
- (i) Se eliminan el 1 % superior e inferior de los cambios esperados resultantes de la ecuación (3.14).

Se debe tener en consideración que estos filtros deben ser satisfechos tanto por la opción O como la opción O^* . En total 1,474,999 transacciones satisfacen las condiciones.

4.3. Cálculo de los componentes

Los componentes de inventario e información asimétrica de dirección y volatilidad se estiman aplicando las ecuaciones (3.11), (3.12) y (3.13) a la muestra final descrita en la sección previa, siguiendo los lineamientos generales indicados al final de la sección 3.2. En primer lugar, proceso y calculo los impactos de cada transacción de la muestra final independientemente, para luego calcular el promedio de respuestas a lo largo de todas las transacciones.

Para cada transacción de la opción O identifico los mercados que no transaron las opciones O y O^* , y selecciono a aquellos que estén dentro de los cinco mercados más líquidos de su respectiva opción y que al mismo tiempo estén publicando el precio NBBO en la dirección de la transacción. Las respuestas de los precios son utilizadas para estimar los componentes en cuatro pasos. Primero, estimo el cambio esperado en los precios de las opciones O y O^* a través de la ecuación (3.14), la que indica cuánto debería cambiar el precio ask (para una transacción de compra) o bid (para una transacción de venta) si es que ninguna transacción llegara. Segundo, siguiendo las ecuaciones (3.14) y (3.15), computo la información asimétrica proveniente de los precios de las opciones, sustrayendo los cambios esperados de los precios de las opciones de los cambios efectivos (considerando solo los mercados que no transaron), en un periodo de evaluación de cinco segundos. Por ejemplo, si de los cinco mercados más líquidos (en donde se incluye el mercado que transó), cuatro están publicando el precio NBBO en la dirección de la transacción, luego el promedio se calcula mediante las respuestas de los tres mercados que no transaron. A continuación, para calcular los componentes de dirección y volatilidad de las ecuaciones (3.12) y (3.13) se realizan los ajustes con los parámetros δ y ν a la información asimétrica de las opciones y se restan entre sí.

Tercero, siguiendo la ecuación (3.11) estimo el componente de inventario como la diferencia entre las respuestas de los precios de la market-maker que transó la opción O y las market-makers que no la transaron. Las ecuaciones (3.11), (3.14) y (3.15) también consideran explícitamente la dirección de la transacción. Todo esto se realiza en dólares. Finalmente, en el último paso, se promedian los impactos individuales de todas las transacciones para estimar los parámetros finales de los componentes de inventario e información asimétrica.

El resumen estadístico para la muestra final se reporta en la tabla 4.1 a continuación. El impacto de riesgo de inventario promedio es de 0.003 USD, mientras que los impactos de riesgo de información asimétrica de dirección y volatilidad son 0.007 USD y 0.003 USD, respectivamente. Otras estadísticas sobre los impactos también son calculadas. Por ejemplo, la desviación estándar del impacto de inventario es mayor que la desviación estándar de la información asimétrica total (0.031 USD vs 0.025 USD), debido a que el componente de información se calcula como el promedio de respuestas de

múltiples mercados mientras que el riesgo de inventario de solo uno. Luego al separar el componente de información entre información de dirección e información de volatilidad, las respuestas de las market makers presentan mayor variabilidad, lo que indica que no existe un patrón definido de cobertura al riesgo de información, sino que las market-makers reaccionan de manera distinta de acuerdo a la transacción. Los impactos negativos de información ocurren debido al gran tamaño del tick, ya que esto causa que la mayoría de los precios no cambien luego de una transacción, al mismo tiempo que los cambios esperados de los precios son en general positivos, por lo que al computar la diferencia ésta resulta negativa. En promedio, más de tres de los cinco mercados más líquidos están posteando los precios NBBO, por lo que en promedio se consideran más de dos mercados para estimar los componentes de información asimétrica total. La distribución para el tamaño de la transacción es cercana a exponencial con un promedio de ocho contratos (1245 USD) y una mediana de tres contratos (383 dólares). Consistente con la literatura, las transacciones de call son superiores a las de put (60 %) y hay más transacciones iniciadas por vendedores (51 %).

Tabla 4.1: Resumen Estadístico 2017

Variable	Promedio	Desviación Estándar	5 %	50 %	95 %
<i>Impacto de inventario, USD</i>	0.003	0.031	-0.010	0.000	0.025
<i>Impacto de información total, USD</i>	0.010	0.025	-0.003	0.004	0.044
<i>Impacto de información de dirección, USD</i>	0.007	0.155	-0.124	0.000	0.156
<i>Impacto de información de volatilidad, USD</i>	0.003	0.155	-0.134	0.001	0.149
<i>Impacto del subyacente, %</i>	0.035	0.344	-0.020	0.000	0.095
<i>Cambios esperados del precio, %</i>	0.040	1.038	-1.050	-0.008	1.220
<i>Tamaño de la transacción, contratos</i>	8.233	23.337	1.000	3.000	30.000
<i>Tamaño de la transacción, USD</i>	12.445	47.617	0.565	3.825	43.350
<i>Call/Put Dummy</i>	0.600	0.490	0.000	1.000	1.000
<i>Buy/Sell Dummy</i>	0.489	0.500	0.000	0.000	1.000
<i>Precio de la opción, USD</i>	1.757	1.8261	0.355	1.170	5.150
<i>Precio del subyacente, USD</i>	63.027	45.493	13.325	53.705	141.945
<i>Volatilidad implícita</i>	0.264	0.121	0.136	0.230	0.530
<i>Vega, ν</i>	0.083	0.060	0.016	0.067	0.211
<i>Absolute Delta, Δ</i>	0.433	0.146	0.225	0.416	0.705
<i>Días a expiración</i>	73.992	81.608	11.000	44.000	298.000
<i>Número de mercados con NBBO</i>	7.093	4.219	2.000	6.000	14.000
<i>Número de mercados con NBBO de los 5 más líquidos</i>	3.222	1.261	2.000	3.000	5.000

Tabla 4.1: **Reporta las principales estadísticas de la muestra final del 2017.** *Los componentes del impacto en los precios se calculan mediante las ecuaciones (3.11), (3.12) y (3.13), donde los impactos están en nivel y la respuestas se calculan en un periodo de evaluación de cinco segundos. Además, todos los impactos están ajustados por la dirección de la transacción para hacer comparables las ventas con las compras. En el caso del impacto del subyacente, éste también está ajustado por la clase de la opción transada, ya que se observa el precio ask del subyacente para las compras de call y ventas de put, y se observa el precio bid del subyacente para las compras de put y ventas de call. Cada contrato de opciones otorga el derecho sobre 100 stocks del subyacente.*

Capítulo 5

Resultados empíricos

5.1. Impactos de los componentes del precio

El método propuesto resulta en un impacto de 0.003 USD para el riesgo de inventario, 0.007 USD para el riesgo de información asimétrica de dirección, y 0.003 USD para el riesgo de información asimétrica de volatilidad para una transacción promedio. De esta manera, tanto el riesgo de inventario como el riesgo de información contribuyen a la formación del precio. La tabla 5.1 exhibe los componentes de riesgo para cada subyacente de la muestra.

En el caso de los impactos de inventario e información asimétrica de dirección, todos los parámetros son positivos y significativos, mientras que en el impacto de información asimétrica de volatilidad 44 de los 50 parámetros son positivos y significativos. Además, en todos los subyacentes al menos uno de los dos componentes de información es positivo y significativo, y al sumar ambos componentes de información, todos los parámetros resultan positivos y altamente significativos. Esto indica que para algunos subyacentes las market-makers se preocupan casi en su totalidad de la información asimétrica de dirección y en otros se preocupan de ambos tipos de información.

El impacto más pequeño de información asimétrica total es de 0.003 USD, mientras que el de inventario es 0.001 USD, lo que refuerza la idea de que en el periodo de mi muestra las market-makers de opciones están más preocupados de gestionar el riesgo de información asimétrica que el de inventario.

Siguiendo a Muravyev (2016), los impactos son monótonamente crecientes en el tamaño de la transacción con una cierta concavidad. Esto se confirma formalmente a través del análisis multivariable, en el que se incorpora un término lineal y uno de raíz cuadrada para el tamaño de la transacción. Los resultados que se reportan en la Tabla 5.2, apoyan la idea de la raíz cuadrada como una forma funcional apropiada para los tres componentes de riesgo.

Por otro lado, los precios de las stocks responden instantáneamente a las transacciones de las opciones. Todos los impactos del subyacente son positivos y altamente significativos, lo que confirma que las transacciones de opciones efectivamente contienen información privada sobre el subyacente. En promedio, el subyacente se mueve en un 0.035 % en la dirección de la transacción, y en la última columna de la Tabla 5.2 se reporta cómo depende el impacto en el precio del subyacente de las características de la opción transada.

Una de las variables significativas para el impacto del subyacente es el tamaño de la transacción. Al igual que con los otros componentes, la forma funcional adecuada para esta variable es la raíz cuadrada, lo que valida que este impacto también es creciente en el volumen con cierta concavidad.

Tabla 5.1: Componentes del impacto en el precio por stock muestra 2017

Ticker	# Obs.	Inventario, USD	Información Total, USD	Información Dirección, USD	Información Volatilidad, USD	Impacto Subyacente, %	Cambios Esperados, %
AAL	10594	0.002***	0.015***	0.010***	0.005***	0.061***	-0.028***
AAPL	37680	0.003***	0.011***	0.004***	0.006***	0.043***	-0.066***
BAC	51841	0.003***	0.003***	0.003***	0.001***	0.010***	-0.008***
BMJ	12812	0.004***	0.016***	0.010***	0.006***	0.040***	0.288***
C	24592	0.002***	0.012***	0.010***	0.002**	0.026***	0.182***
CAT	11296	0.003***	0.017***	0.009***	0.007***	0.066***	-0.009
CHK	7053	0.003***	0.006***	0.003***	0.002***	0.022***	0.028***
CLF	4182	0.002***	0.007***	0.005***	0.002***	0.069***	0.081***
CMCSA	8101	0.002***	0.013***	0.009***	0.000	0.030***	0.142***
CSCO	11800	0.002***	0.004***	0.003***	0.001***	0.004***	0.003*
CVX	9368	0.001***	0.014***	0.013***	0.001	0.052***	0.123***
DAL	11501	0.001***	0.015***	0.009***	0.003**	0.056***	0.061***
DIS	16253	0.002***	0.010***	0.010***	0.000	0.054***	-0.032***
F	8668	0.001***	0.004***	0.001***	0.003***	0.017***	0.018***
FB	22641	0.004***	0.011***	0.007***	0.004***	0.036***	0.004
FCX	27317	0.002***	0.005***	0.006***	-0.001**	0.028***	0.046***
GE	6608	0.002***	0.006***	0.003***	0.003***	0.007***	0.027***
GILD	16662	0.005***	0.015***	0.011***	0.004***	0.043***	-0.063***
GM	17082	0.001***	0.010***	0.008***	0.002***	0.037***	0.087***
GS	4478	0.008***	0.040***	0.023***	0.017***	0.092***	-0.021*
HD	5928	0.001***	0.014***	0.005***	0.009***	0.045***	0.058***
IBM	3520	0.006***	0.027***	0.029***	-0.002*	0.091***	-0.016*
INTC	20106	0.002***	0.006***	0.003***	0.003***	0.010***	0.036***
JCP	5521	0.002***	0.007***	0.004***	0.003***	0.018***	0.161***
JPM	22723	0.002***	0.012***	0.007***	0.004***	0.029***	-0.047***
KMI	8779	0.002***	0.008***	0.005***	0.003***	0.014***	0.364***
KO	9813	0.001***	0.005***	0.004***	0.002***	0.015***	0.017***
M	2608	0.004***	0.013***	0.008***	0.004	0.065***	0.197***
MS	12049	0.001***	0.008***	0.007***	0.001*	0.024***	0.187***
MSFT	32285	0.002***	0.009***	0.007***	0.002***	0.013***	-0.021***
MU	20283	0.002***	0.009***	0.006***	0.003***	0.021***	0.028***
NFLX	10066	0.009***	0.022***	0.012***	0.010**	0.140***	0.030***
NKE	16357	0.002***	0.009***	0.007***	0.002***	0.035***	-0.008
NVDA	16557	0.009***	0.019***	0.004**	0.015***	0.081***	-0.015***
ORCL	5933	0.003***	0.007***	0.005***	0.003***	0.013***	0.059***
PFE	9854	0.002***	0.005***	0.004***	0.001***	0.014***	0.026***
PG	2885	0.004***	0.013***	0.008***	0.005**	0.017***	0.137***
QCOM	14728	0.002***	0.011***	0.007***	0.004***	0.050***	-0.033***
RIG	6242	0.001***	0.007***	0.008***	0.000	0.026***	0.222***
SBUX	10601	0.003***	0.009***	0.007***	0.003***	0.020***	0.069***
T	12919	0.002***	0.006***	0.005***	0.001***	0.013***	0.066***
TGT	8154	0.003***	0.012***	0.008***	0.004***	0.043***	0.028***
TSLA	6245	0.008***	0.036***	0.019**	0.018**	0.193***	-0.006
TWTR	21699	0.003***	0.007***	0.004***	0.002***	0.028***	0.039***
V	6000	0.003***	0.015***	0.007***	0.008***	0.030***	0.107***
VZ	12194	0.003***	0.006***	0.003***	0.003***	0.028***	0.181***
WFC	14801	0.002***	0.009***	0.009***	0.000	0.039***	0.148***
WMT	10639	0.001***	0.010***	0.008***	0.002***	0.034***	0.007
X	14509	0.003***	0.012***	0.009***	0.003*	0.058***	-0.011*
XOM	14657	0.002***	0.010***	0.008***	0.002***	0.043***	0.082***
Promedio o Total	679,184	0.003***	0.010***	0.007***	0.003***	0.035***	0.040***

Tabla 5.1: **Reporta los componentes de riesgo de inventario e información de las opciones de cada stock de la muestra, así como también sus cambios esperados en el precio y el impacto de sus subyacentes 2017.** *Los componentes se estiman a través de las ecuaciones (3.11), (3.12), (3.13). Los impactos están en nivel y la respuestas se calculan en un periodo de evaluación de cinco segundos. En el caso del impacto del subyacente, éste también está ajustado por la clase de la opción transada, ya que se observa el precio ask del subyacente para las compras de call y ventas de put, y se observa el precio bid del subyacente para las compras de put y ventas de call. Además, todos los impactos están ajustados por la dirección de la transacción para hacer comparables las ventas con las compras.***,**, * denotan una significancia estadística al 1 %, 5 % y 10 % respectivamente.*

La Tabla 5.2 además muestra diferencias entre cómo dependen ambos componentes de información de la características de la opción transada. Los resultados reportan que el impacto de información asimétrica de dirección es mayor para opciones in-the-money (ITM), mientras que el de información asimétrica de volatilidad es mayor para opciones out-of-the-money (OTM). Las opciones ITM entregan una oportunidad para las inversionistas informadas acerca de la dirección del subyacente, ya que, en primer lugar, el precio de la opción ITM se mueve punto a punto con el precio de la stock debido a su mayor delta, y en segundo lugar, si la volatilidad implícita cambia, el precio de la opción ITM se ve levemente afectado ya que éste se conforma prácticamente en su totalidad por el valor intrínseco y no por valor temporal. En cambio, las opciones OTM y ATM son totalmente valor temporal y cero valor intrínseco. Esto implica que si se maneja información de volatilidad se puede aprovechar esta sensibilidad del valor temporal y obtener ventajas, considerando además el leverage que entregan particularmente las opciones OTM.

Por otro lado, la información privada usualmente es de corto plazo y está relacionada con eventos cercanos en el tiempo, por lo que opciones de corto plazo están mejor adaptadas para inversionistas informadas. A pesar de esto, solo la información de volatilidad muestra una significancia en ese sentido, mientras que la información de dirección no es sensible a los días que restan para la expiración de la opción. Sin embargo, sí se puede apreciar que las transacciones iniciadas por compradoras tienen un mayor impacto en la información de dirección que las ventas. Esto ocurre debido a que las inversionistas que manejan información privada de dirección pueden efectivamente explotarla mediante la compra de opciones y no así mediante las ventas. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Muravyev, y, a diferencia de éstos, sí hallo diferencias entre las opciones call y put. En mi muestra encuentro que las market-makers se preocupan más de las transacciones de opciones put cuando se buscan proteger de la información de dirección, y de las transacciones de opciones call cuando desean cubrirse de la información de volatilidad. Cuando las inversionistas manejan información a la baja del precio del subyacente, en algunas casos resulta complejo diseñar y ejecutar una estrategia de venta de stock, por lo que es muy común que estas inversionistas decidan ir al mercado de opciones y transar contratos put para explotar esta información (a diferencia de la información al alza que resulta menos complejo explotarla en el mercado del subyacente). En cambio, la información de volatilidad no se puede explotar en el mercado de stocks como sí en el de opciones, donde tanto las transacciones de puts como calls pueden resultar beneficiosas. A pesar de esto, las opciones call otorgan potenciales ganancias ilimitadas a las compradoras (ya que el precio de una stock no tiene techo), por lo que puede resultar más atractivo transar opciones call cuando se maneja información de volatilidad y no de dirección.

En cuanto al riesgo de inventario, el impacto disminuye con la moneyness de la opción. La paridad put-call da a entender que el par ITM-OTM debería tener un perfil de riesgo similar, sin embargo, debido a que el impacto en el precio de opciones OTM está normalizado por un precio menor, esto mecánicamente desemboca en un mayor impacto para estas opciones. A diferencia de los resultados de Muravyev, encuentro que las transacciones iniciadas por vendedores tienen un mayor impacto que las de las compradoras. Finalmente, el riesgo de inventario es mayor para las calls que las puts porque una vendedora de una call enfrenta riesgo de pérdidas ilimitadas.

Tabla 5.2: Impactos condicionados por las características de la transacción y la opción muestra 2017

	Inventario, USD	Información Dirección, USD	Información Volatilidad, USD	Impacto Subyacente, %
Vega, ν	0.0071	-0.0203	0.0254	0.0111
Delta absoluto, $ \Delta $	0.00000421	0.0099	0.0039	0.0409***
$ \Delta $, si $ \Delta < 0.4$	-0.0009	0.0050*	-0.0051*	-0.0173**
$ \Delta $, si $0.4 \leq \Delta < 0.6$	-0.0006	0.0016	-0.003*	-0.0109**
$\sqrt{\text{Días a expiración}}$	0.0001**	0.0002	0.0002	0.0003
Call/Put dummy	0.0004***	-0.0023***	0.0002	-0.0022*
Precio de la opción	0.0003**	0.0017	0.0004	-0.0020*
Compra/Venta Dummy	0.00002636	0.0015**	-0.0004	0.0004
$\sqrt{\text{Volumen de la transacción}}$	0.0002***	0.0013***	0.0007***	0.0012*
Volumen de la transacción	0.0000	-0.0001***	0.0000**	0.0000
Efecto fijo de tiempo	Sí	Sí	Sí	Sí
Efecto fijo de subyacente	Sí	Sí	Sí	Sí
R^2	0.0091	0.0020	0.0005	0.0060
Observaciones	679,184	679,184	679,184	679,184

Tabla 5.2: Impactos de las características de las transacciones y opciones en los distintos componentes de riesgo de la muestra del 2017. Los componentes se estiman a través de las ecuaciones (3.11), (3.12), (3.13). La no linealidad del tamaño de la transacción se representa mediante la raíz cuadrada, en adición al término lineal. La no linealidad en el delta absoluto se representa incluyendo variables iguales al delta absoluto para distintos grupos de moneyness (out-of-the-money o at-the-money), y cero en caso contrario. Los efectos fijos de stock-fecha son incluidos, pero no reportados. ***, ** y * denotan una significancia estadística al 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.

5.2. Modelo en presencia de straddles

Una de las estrategias que las inversionistas informadas podrían utilizar para explotar la información asimétrica de volatilidad es la straddle, la cual consiste en la compra (venta) de la misma cantidad de calls y puts del mismo subyacente, con el mismo precio strike y madurez. Se considera una estrategia de volatilidad, debido a que si se maneja información de alta volatilidad, se podría entrar en una estrategia de compra de straddle en la que el portafolio se vería beneficiado por grandes cambios en el precio del subyacente, o en una estrategia de venta de straddle si es que se maneja información de baja volatilidad, ya que en ese caso el portafolio tendría ganancias si es que el precio del subyacente se mantiene en un rango específico. Además, al comprar la misma cantidad de contratos no se estaría apostando por alguna dirección específica del precio de la stock (delta neutral). De esta manera, como chequeo de robustez, se evalúa el desempeño del modelo ante la presencia de estrategias de straddle, en los que en teoría las market-makers deberían responder con un mayor impacto de información asimétrica de volatilidad como respuesta al riesgo que implican estas estrategias.

Debido a que en la data recopilada no existe información acerca de si una transacción pertenece a una estrategia straddle o no, se diseñó un algoritmo que permite identificarlas. En este algoritmo, para cada transacción en tiempo t de una opción O con subyacente S , precio strike K y madurez T , se busca si hay transacciones entre $t-s$ y $t+s$, con $s = 5, 10$ segundos, de opciones con la misma dirección, derecho opuesto (si la opción O es una call se buscan puts, y viceversa), y con las mismas características S, K y T . Luego, como las straddles se realizan con opciones con precios strike iguales o muy cercanos al precio del subyacente (ATM), se filtran todas aquellas opciones con delta menor

a 0.45 o mayor a 0.55. Si alguna opción satisface todas estas condiciones se marca como parte de un straddle. Se eligen periodos de corta duración para encontrar las potenciales transacciones que conforman un straddle, porque en general todas las transacciones que son parte de una misma estrategia se ejecutan instantáneamente, sin embargo en algunos casos no está la liquidez necesaria para ejecutarla completamente, por lo que es necesario esperar algunos segundos para que una market-maker satisfaga el resto de la orden. El algoritmo arrojó un total de 8,362 y 9,924 para los algoritmos de 5 y 10 segundos, respectivamente.

En la tabla A.7 se reportan los resultados de este análisis. En ésta se presentan los impactos por subyacente de la información asimétrica de volatilidad en cuatro muestras distintas, de manera de comparar los resultados y concluir acerca del desempeño del modelo. La primera muestra consta de todas las observaciones de la muestra final, a excepción de las opciones relacionadas a los subyacentes donde no se encontraron straddles. La segunda consiste solo de opciones ATM, para tener el mismo benchmark que las straddles, y las últimas dos contienen solo las transacciones que conforman un straddle según los algoritmos de 5 y 10 segundos. En los resultados se puede apreciar que el componente de información asimétrica de volatilidad para la primera muestra representa un 18.9% de la mitad del bid-ask spread, 22,5% para la segunda, y 45,1% y 50.9% para las muestras con las straddles. Es decir, el resultado para las straddles es mayor para la muestra total y para las opciones de la misma moneyness. Esto indica que el modelo efectivamente refleja cómo reaccionan las market-makers ante el riesgo que implican las estrategias de volatilidad.

De todas maneras hay que tener en cuenta que en esta tesis se utilizó un método propio de identificación de straddles y no información pública indicando si las transacciones pertenecen a alguna estrategia o no, por lo que existe un cierto grado de imprecisión en las últimas muestras que podría afectar los resultados.

Tabla 5.3: Información asimétrica de volatilidad en presencia de straddles muestra 2017

	Muestra Total	Muestra ATM	Muestra Straddle 10s	Muestra Straddle 5s
Observaciones	679,184	154,300	9,924	8,362
Información de volatilidad, USD	0.0032	0.0041	0.0048	0.0054
Mitad bid-ask spread, USD	0.0172	0.0181	0.0106	0.0107
% de la mitad del bid-ask spread	18,9 %	22,5 %	45,1 %	50,9 %

Tabla 5.3: **Reporta el impacto de información asimétrica de volatilidad en cuatro muestras para evaluar el desempeño del modelo ante estrategias de straddle de la muestra del 2017.** *El componente se estima a través de la ecuación (3.13). La primera muestra considera todo el conjunto de observaciones, la segunda solo las opciones que tienen delta entre 0.45 y 0.55, la tercera solo las opciones con delta entre 0.45 y 0.55 que fueron parte de un straddle con un algoritmo de búsqueda de straddles entre $t-10$ y $t+10$, y la cuarta solo las opciones con delta entre 0.45 y 0.55 que fueron parte de un straddle con un algoritmo de búsqueda de straddles entre $t-5$ y $t+5$. De la misma forma, al lado izquierdo se presenta el total de observaciones de cada muestra, su respectivo componente de información de volatilidad, la mitad del bid-ask spread promedio, y el porcentaje que representa el componente de volatilidad en la mitad del respectivo bid-ask promedio.*

Capítulo 6

Conclusiones

Esta tesis presenta evidencia de que el impacto de información asimétrica del precio de las opciones que propone Muravyev en su paper (2016), se puede descomponer entre información relacionada a la dirección del subyacente e información relacionada a la volatilidad del subyacente. En el periodo de mi muestra encuentro que estos dos componentes son de gran relevancia en la formación de los precios de la opciones, y que ambos, a diferencia de los resultados de Muravyev, tienen un impacto promedio mayor que el del componente de riesgo de inventario. Este resultado se complementa con el análisis del modelo bajo casos de straddle, en donde la importancia de la información asimétrica de volatilidad se hace aun mayor cuando las market-makers detectan estrategias de volatilidad.

Para esto utilizo como base el método de descomposición introducido por Muravyev y le agrego una variante que permite separar la información asimétrica. En ese sentido, el componente de inventario se calcula de la misma manera, es decir, como la diferencia entre las respuestas de la market-maker que recibió la transacción y las respuestas de las market-makers que no. Aquí hay que precisar que estas respuestas corresponden a los impactos de la misma opción transada, ya que la estimación de los componentes de información necesita de las respuestas de una opción distinta. Las market-makers al observar la transacción, mueven los precios tanto de la misma opción transada como de opciones similares que no fueron transadas, ya que la potencial información asimétrica contenida en la orden también les afecta y necesitan cubrirse de ese riesgo. Al elegir arbitrariamente una segunda opción y realizar ajustes a sus impactos luego de la transacción (para que sea comparable con los impactos de la opción transada), soy capaz de observar cómo se manifiesta la información asimétrica en el mercado de opciones, lo que permite luego poder descomponerla entre información de dirección y volatilidad acerca del subyacente.

Este método se adapta particularmente bien al mercado de opciones, sin embargo, también se puede implementar en otros estudios y mercados. Por ejemplo, se podría estimar el flujo de información desde el mercado de opciones hacia el mercado de stocks, y así estudiar cómo las inversionistas de este mercado responden a transacciones del mercado de opciones. También se puede examinar si existen señales agregadas de información, en donde las market-makers responderían a un conjunto de transacciones y no solo a una. Al mismo tiempo, el modelo puede ser implementado en mercados como el de bonos o directamente en el de stocks, cuyas características permiten utilizar la capacidad descomponedora de este método.

Los resultados de esta tesis indican que las market-makers no solo se preocupan de su riesgo de inventario y la presencia de información asimétrica, sino también del tipo de información que manejan las inversionistas. Es más, el impacto de los componentes de información es mayor en mi muestra que el de inventario, a diferencia de lo que encuentra Muravyev. Si la información es de dirección o volatilidad va a depender del subyacente y de las características específicas de las opciones. En general, los tres componentes contribuyen a la dinámica de los precios de las opciones, y su preponderancia relativa se debe seguir estudiando, ya que los resultados pueden estar condicionados por diversos factores propios de la muestra o momento de la industria.

Bibliografía

- [1] A. Anand and S. Chakravarty. Stealth trading in options markets. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 42(1):167–187, 2007.
- [2] M. Ananth and S. Smidt. A bayesian model of intraday specialist pricing. *Journal of Financial Economics*, 30:99–134, 1991.
- [3] A. Bernales, C. Cañón, and T. Verousis. Bid–ask spread and liquidity searching behaviour of informed investors in option markets. *Finance Research Letters*, 25:96–102, 2018.
- [4] F. Black. Fact and fantasy in use of options. *Financial Analysts Journal*, 31:61–72, 1975.
- [5] P. P. Boyle and T. Vorst. Option replication in discrete time with transaction costs. *The Journal of Finance*, 47:271–293, 1992.
- [6] M. Cao and J. Wei. Option market liquidity: Commonality and other characteristics. *Journal of Financial Markets*, 13(1):20–48, 2010.
- [7] S. Chakravarty, H. Gulen, and S. Mayhew. Informed trading in stock and option markets. *The Journal of Finance*, 59(3):1235–1257, 2004.
- [8] K. Chan, Y. P. Chung, and W.-M. Fong. The informational role of stock and option volume. *Review of Financial Studies*, 15:1049–1075, 2002.
- [9] Y.-H. Cho and R. F. Engle. Modeling the impacts of market activity on bid-ask spreads in the option market. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28:381–397, 1993.
- [10] P. Christoffersen, R. Goyenko, K. Jacobs, and M. Karoui. Illiquidity premia in the equity options market. *The Review of Financial Studies*, 31(3):811–851, 2018.
- [11] D. Easley, M. O’Hara, and P. Srinivas. Option volume and stock prices: Evidence on where informed traders trade. *The Journal of Finance*, 53:431–465, 1988.
- [12] R. Engle and B. Neri. The impact of hedging costs on the bid and ask spread in the options market. *Working paper, New York University*, 2010.
- [13] J. Hasbrouck. The summary informativeness of stock trades: An econometric analysis. *Review of Financial Studies*, 4:571–595, 1991.
- [14] B. Henk. Large option trades, market makers, and limit orders. *Review of Financial Studies*, 9:977–1002, 1996.
- [15] Holowczak, Jianfeng, and Liuren. Aggregating information in option transactions. *The Journal of Derivatives*, 21(3):9–23, 2014.
- [16] R. D. Huang and H. R. Stoll. The components of the bid-ask spread: A general approach. *Review of Financial Studies*, 10:995–1034, 1997.

- [17] C. Hui, S. Joslin, and S. Ni. Demand for crash insurance, intermediary constraints, and stock return predictability. *AFA 2013 San Diego Meeting Papers, MIT*, 2014.
- [18] G. T. J. and F. A. Longstaff. Bid-ask spreads and trading activity in the s&p 100 index options market. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28:381–397, 1993.
- [19] Jameson, Mel, and W. Wilhelm. Market making in the options markets and the costs of discrete hedge rebalancing. *The Journal of Finance*, 47:765–779, 1992.
- [20] P. Jun and A. M. Poteshman. The information in option volume for future stock prices. *Review of Financial Studies*, 19:871–908, 2006.
- [21] G. Kaul, M. Nimalendran, and D. Zhang. Informed trading and option spreads. *Working paper, University of Florida*, 2004.
- [22] V. A. M. Liquidity of the cboe equity options, journal of finance. *The Journal of Finance*, 45:1157–1179, 1990.
- [23] D. Muravyev. Order flow and expected option returns. *The Journal of Finance*, 71(2): 673–708, 2016.
- [24] D. Muravyev and N. D. Pearson. Option trading costs are lower than you think. *Working paper, Boston College*, 2014.
- [25] D. Muravyev, N. D. Pearson, and J. P. Broussard. Is there price discovery in equity options? *Journal of Financial Economics*, 107:259–283, 2013.
- [26] G. Nicolae, L. H. Pedersen, and A. M. Poteshman. Demand-based option pricing. *Review of Financial Studies*, 22:4259–4299, 2009.
- [27] B. Nicolas and R. E. Whaley. Does net buying pressure affect the shape of implied volatility functions? *The Journal of Finance*, 59:711–753, 2004.
- [28] G. L. R. and P. R. Milgrom. Bid, ask and transaction prices in a specialist market with heterogeneously informed traders. *Journal of Financial Economics*, 14:71–100, 1985.
- [29] S. H. R. The supply of dealer services in securities markets. *The Journal of Finance*, 33:1133–1151, 1978.
- [30] A. Shleifer. Do demand curves for stocks slope down? *The Journal of Finance*, 41: 579–590, 1986.

Anexo A

Descripción completa del modelo

A.1. Modelo extendido

Las market-makers comparten una creencia común μ_t^O acerca del valor razonable de una opción O en tiempo t . Luego de una transacción de esta opción, las market-makers cambian su creencia en función de tres componentes: información pública F_t todavía no incorporada en los precios, flujo de órdenes no previstos ($x_t - \mathbb{E}(x_t|F_t)$), e innovaciones en las creencias ϵ_t :

1. Las creencias a menudo responden lentamente a la información pública, por lo que $\mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t)$ representa los cambios en el precio de la opción O entre t y $t+5$ causados por la información todavía no incorporada en la formación de precios.
2. Las transacciones proveen información, ya que las inversionistas podrían estar transando en función de información privada. Luego de la compra de la opción, las market-makers aumentan su estimación del valor razonable en ($x_t - \mathbb{E}(x_t|F_t)$), donde el flujo de órdenes inesperado es multiplicado por los parámetros de información asimétrica de dirección θ_1 y volatilidad θ_2 (ambos positivos), según corresponda.
3. El flujo de información pública al mercado causa revisiones en las creencias cuando no hay transacciones. ϵ_t denota las innovaciones en las creencias entre t y $t + 5$ debido a la nueva información pública. Se asume que ϵ_t tiene promedio cero y no está relacionado con el proceso transaccional.

Combinando los tres componentes, las creencias de las market-makers evolucionan de acuerdo a

$$\mu_{t+5}^O - \mu_t^O = \Delta\mu_t^O = \mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t) + \theta_1(x_t - \mathbb{E}(x_t|F_t)) + \theta_2(x_t - \mathbb{E}(x_t|F_t)) + \epsilon_t \quad (\text{A.1})$$

Las market-makers publican sus precios condicionantes a que puedan recibir una transacción. Además, todas comparten una creencia común acerca del valor razonable de la opción. Sin embargo, sus posiciones de inventario actuales I_t y posiciones de inventario deseadas I_d del contrato varían entre ellas, lo que en definitiva impacta en los precios ask y bid que publican.

Por otro lado, las market-makers también enfrentan costos fijos $\varphi > 0$ por cada contrato, y potenciales ruidos microestructurales ϑ_t (la cual tiene promedio cero y no está correlacionada con las otras variables) provocados por el tamaño del tick y otras fricciones. De esta manera los precios ask y bid de la opción O que publica la market-maker i en tiempo t , previo a la llegada de una orden, se puede denotar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} p_{t,i}^{a,O} &= \mu_t^O + \theta_1(X - \mathbb{E}(x_t|F_t)) + \theta_2(X - \mathbb{E}(x_t|F_t)) - \gamma(I_{t,i} - X - I_{d,i}) + \varphi \cdot X + \vartheta_{t,i}^{a,O} \\ p_{t,i}^{b,O} &= \mu_t^O + \theta_1(-X - \mathbb{E}(x_t|F_t)) + \theta_2(-X - \mathbb{E}(x_t|F_t)) - \gamma(I_{t,i} + X - I_{d,i}) - \varphi \cdot X + \vartheta_{t,i}^{b,O}, \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

donde la mitad del spread bid-ask es igual a

$$ba_{t,i}^O = \frac{1}{2}(p_{t,i}^{a,O} - p_{t,i}^{b,O}) = (\theta_1 + \theta_2 + \gamma + \varphi) \cdot X + \frac{1}{2}(\vartheta_{t,i}^{a,O} - \vartheta_{t,i}^{b,O}) \quad (\text{A.3})$$

Asumamos ahora que la market-maker *i* ejecuta una orden de una opción en tiempo *t*. Como resultado de esta transacción, las market-makers definirán sus precios de acuerdo a las ecuaciones (A.1) y (A.2) en *t* y *t*+5. Hay que tener en consideración que el grado de cambio en el precio ask, luego de una orden de compra, difiere entre la market-maker que realizó la transacción (“*i*”) y las otras que no experimentaron cambios en su inventario (“*i*-”). En primer lugar, la market-maker que transó *X* contratos aumenta su riesgo de inventario en *X* y los precios ask y bid aumentan en

$$\begin{aligned} \Delta p_{t,i}^{a,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1(X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \theta_2(X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \gamma \cdot X + \epsilon_{t+5} \\ &\quad + (\vartheta_{t+5,i}^{a,O} - \vartheta_{t,i}^{a,O}) \\ \Delta p_{t,i}^{b,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1(-X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \theta_2(-X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) - \gamma \cdot X + \epsilon_{t+5} \\ &\quad + (\vartheta_{t+5,i}^{b,O} - \vartheta_{t,i}^{b,O}), \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

mientras que las market-makers que no transaron reciben la misma información que la market-maker *i*, pero no cambian su posición de inventario, por lo que la variación en sus precios está representado por

$$\begin{aligned} \Delta p_{t,i-}^{a,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1(X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \theta_2(X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \gamma \cdot 0 + \epsilon_{t+5} \\ &\quad + (\vartheta_{t+5,i-}^{a,O} - \vartheta_{t,i-}^{a,O}) \\ \Delta p_{t,i-}^{b,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1(-X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \theta_2(-X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) - \gamma \cdot 0 + \epsilon_{t+5} \\ &\quad + (\vartheta_{t+5,i-}^{b,O} - \vartheta_{t,i-}^{b,O}). \end{aligned} \quad (\text{A.5})$$

Por otra parte, las market-makers que están publicando precios para una opción O^* distinta a O observan la transacción realizada por la market-maker *i* y también responden con el precio de su contrato. Sin embargo, la variación en el precio de esta opción no es perfectamente comparable con la variación en el precio de la opción O sin antes realizar un ajuste. Las opciones están expuestas a los cambios en el precio del subyacente, cuyo grado de dependencia se mide a través de la métrica de riesgo delta δ . Debido a esto, la respuesta de las market-makers a la información asimétrica de dirección sobre el precio del subyacente va a ser distinta para distintos deltas. Por ejemplo, si la transacción en *t* fuera de una opción in-the-money (ITM), una market-maker cotizando esta misma opción tendería a reaccionar en mayor grado que una market-maker cotizando una opción out-of-the-money (OTM) del mismo subyacente, ya que la primera implica un mayor riesgo. Lo mismo ocurre con los vegas ν para la información de volatilidad. Las opciones con vegas altos están más expuestas a información asimétrica de volatilidad que las de vegas bajos, lo que luego se vería reflejado en las respuestas de las market-makers a una transacción. Por estas razones es que se hace necesario realizar ajustes a los componentes de información de dirección y volatilidad a través de los δ y ν de las opciones, respectivamente.

Sumado a esto, para que el análisis sea preciso la opción O^* que se está analizando no debe haber sido transada entre *t*-5 y *t*, ya que de no ser así, las respuestas de las market-makers cotizando esta opción podrían contener el componente de inventario. En este caso no es necesario distinguir entre las market-makers “*i*” y “*i*-”, ya que se podrían considerar los impactos de cualquiera de ellas para la opción O^* , mientras no la hayan transado inmediatamente antes de *t*. De este modo, luego de una transacción de la market-maker *i* de la opción O , las market-makers publicando precios para la

opción O^* responden de la siguiente manera en sus precios:

$$\begin{aligned}
\Delta p_t^{a,O^*} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^{O^*} | F_t) + \theta_1 \frac{\delta_t^{O^*}}{\delta_t^O} \cdot (X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \theta_2 \cdot \frac{\nu_t^{O^*}}{\nu_t^O} \cdot (X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \gamma \cdot 0 \\
&\quad + \epsilon_{t+5,S} + (\vartheta_{t+5}^{a,O^*} - \vartheta_t^{a,O^*}) \\
\Delta p_t^{b,O^*} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^{O^*} | F_t) + \theta_1 \cdot \frac{\delta_t^{O^*}}{\delta_t^O} \cdot (-X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) + \theta_2 \cdot \frac{\nu_t^{O^*}}{\nu_t^O} \cdot (-X - \mathbb{E}(x_t | F_t)) - \gamma \cdot 0 \\
&\quad + \epsilon_{t+5,S} + (\vartheta_{t+5}^{b,O^*} - \vartheta_t^{b,O^*})
\end{aligned} \tag{A.6}$$

De manera de simplificar la notación de las ecuaciones (A.4), (A.5) y (A.6), se asume que la llegada de una orden de compra y una orden venta son igualmente probables, por lo que $\mathbb{E}(x_t | F_t) = 0$ y que los términos de error y ruido de microestructura se combinan dentro de un término único $\epsilon_{t+5,i} = \epsilon_{t+5} + (\vartheta_{t+5,i-} - \vartheta_{t,i-})$ que tiene una media igual a cero por construcción. Además, al elegir una opción O^* que tenga la misma clase (call o put) que la opción O se puede omitir el valor absoluto del ajuste del componente de dirección. Así, las respuestas de los precios de las market-makers luego de una transacción de compra, se puede reescribir mediante la siguiente notación:

$$\begin{aligned}
\Delta p_{t,i}^{a,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1 X + \theta_2 X + \gamma X + \epsilon_{t+5,i}^O \\
\Delta p_{t,i-}^{a,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1 X + \theta_2 X + \epsilon_{t+5,i-}^O \\
\Delta p_t^{a,O^*} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^{O^*} | F_t) + \theta_1 \cdot \frac{\delta_t^{O^*}}{\delta_t^O} \cdot X + \theta_2 \cdot \frac{\nu_t^{O^*}}{\nu_t^O} \cdot X + \epsilon_{t+5}^{O^*} \\
\Delta p_{t,i}^{b,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) - \theta_1 X - \theta_2 X - \gamma X + \epsilon_{t+5,i}^O \\
\Delta p_{t,i-}^{b,O} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) - \theta_1 X - \theta_2 X + \epsilon_{t+5,i-}^O \\
\Delta p_t^{b,O^*} &= \mathbb{E}(\Delta \mu_t^{O^*} | F_t) - \theta_1 \cdot \frac{\delta_t^{O^*}}{\delta_t^O} \cdot X - \theta_2 \cdot \frac{\nu_t^{O^*}}{\nu_t^O} \cdot X + \epsilon_{t+5}^{O^*}
\end{aligned} \tag{A.7}$$

Los tres impactos dependen de los cambios esperados en el precio $\mathbb{E}(\Delta \mu_t | F_t)$ y del ruido de microestructura ϵ_{t+5} . El ruido de microestructura ϵ tiene promedio cero y, por lo tanto, puede ser eliminado al tomar un promedio sobre un gran número de transacciones, sin embargo, el cambio esperado en el precio de la opción no puede ser promediado de la misma manera y debe ser estimado adecuadamente. Las inversionistas no ejecutan sus transacciones aleatoriamente, sino que esperan el momento preciso (Hasbrouck 1991). En particular, ellas compran cuando se espera que el precio de la opción vaya a aumentar $\mathbb{E}(\Delta \mu_t | F_t) > 0$, y venden cuando se espera que el precio vaya a disminuir $\mathbb{E}(\Delta \mu_t | F_t) < 0$. Teniendo todo esto en consideración, las ecuaciones (A.7) quedarían de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
\mathbb{E}(\Delta p_{t,i}^{a,O}) &= \mathbb{E} \left[\mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1 X + \theta_2 X + \gamma \cdot X \right] \\
\mathbb{E}(\Delta p_{t,i-}^{a,O}) &= \mathbb{E} \left[\mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) + \theta_1 X + \theta_2 X \right] \\
\mathbb{E}(\Delta p_t^{a,O^*}) &= \mathbb{E} \left[\mathbb{E}(\Delta \mu_t^{O^*} | F_t) + \theta_1 \cdot \frac{\delta_t^{O^*}}{\delta_t^O} \cdot X + \theta_2 \cdot \frac{\nu_t^{O^*}}{\nu_t^O} \cdot X \right] \\
\mathbb{E}(\Delta p_{t,i}^{b,O}) &= \mathbb{E} \left[\mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) - \theta_1 X - \theta_2 X - \gamma \cdot X \right] \\
\mathbb{E}(\Delta p_{t,i-}^{b,O}) &= \mathbb{E} \left[\mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t) - \theta_1 X - \theta_2 X \right] \\
\mathbb{E}(\Delta p_t^{b,O^*}) &= \mathbb{E} \left[\mathbb{E}(\Delta \mu_t^{O^*} | F_t) - \theta_1 \cdot \frac{\delta_t^{O^*}}{\delta_t^O} \cdot X - \theta_2 \cdot \frac{\nu_t^{O^*}}{\nu_t^O} \cdot X \right]
\end{aligned} \tag{A.8}$$

Ahora se pueden generalizar las ecuaciones para considerar tanto las transacciones de compra como de venta, lo que requiere una nueva notación. El indicador de la dirección de la transacción I_i^{BS} es 1 para las transacciones de compra y -1 para las ventas. La respuesta del precio $\Delta p_{t,i}^{BS}$ se calcula en función de los precios ask $\Delta p_{t,i}^a$ para las compras y en función de los precios bid $\Delta p_{t,i}^b$ para las ventas. Luego, resolviendo las ecuaciones (A.8), los tres componentes de los impactos de los precios son

$$\gamma \cdot X = \mathbb{E} \left[I_i^{BS} \cdot (\Delta p_{t,i}^{BS,O} - \Delta p_{t,i-}^{BS,O}) \right] \quad (\text{A.9})$$

Riesgo de inventario

$$\theta_1 \cdot X = \frac{\nu_t^{O^*} \cdot \delta_t^O}{\nu_t^{O^*} \cdot \delta_t^O - \nu_t^O \cdot \delta_t^{O^*}} \cdot Inf_{t,-i}^{BS,O} - \frac{\nu_t^O \cdot \delta_t^O}{\nu_t^{O^*} \cdot \delta_t^O - \nu_t^O \cdot \delta_t^{O^*}} \cdot Inf_{t,-i}^{BS,O^*} \quad (\text{A.10})$$

Información asimétrica de dirección

$$\theta_2 \cdot X = \frac{\nu_t^O \cdot \delta_t^O}{\nu_t^{O^*} \cdot \delta_t^O - \nu_t^O \cdot \delta_t^{O^*}} \cdot Inf_{t,-i}^{BS,O^*} - \frac{\nu_t \cdot \delta_t^{O^*}}{\nu_t^{O^*} \cdot \delta_t^O - \nu_t^O \cdot \delta_t^{O^*}} \cdot Inf_{t,-i}^{BS,O} \quad (\text{A.11})$$

Información asimétrica de volatilidad

donde

$$Inf_{t,-i}^{BS,O} = \mathbb{E}[I_i^{BS} \cdot (\Delta p_{t,-i}^{BS,O} - \mathbb{E}(\Delta \mu_t^O | F_t))] \quad (\text{A.12})$$

$$Inf_{t,-i}^{BS,O^*} = \mathbb{E}[I_i^{BS} \cdot (\Delta p_{t,-i}^{BS,O^*} - \mathbb{E}(\Delta \mu_t^{O^*} | F_t))] \quad (\text{A.13})$$

representan la información proveniente de la opción O y O^* , respectivamente.

El componente de riesgo de inventario es la diferencia entre las respuestas de la market-maker que transó la opción O , y las market-makers que cotizaban la opción O pero que no la transaron en tiempo t , ajustado por la dirección de la transacción. El componente de información asimétrica de dirección se calcula a través de la diferencia entre las respuestas de las market-makers que cotizaban la opción O y no la transaron, y las market-makers que cotizaban la opción O^* y tampoco la transaron, con ambas medidas ponderadas por los parámetros δ y ν , y ajustadas por la dirección de la transacción. Finalmente, en el componente de información asimétrica de volatilidad se invierte la diferencia del componente de dirección y se cambia la ponderación de uno de sus términos.

En la siguiente subsección detallo el método para calcular el cambio esperado del precio de la opción $\mathbb{E}(\Delta \mu_t | F_t)$. En particular, estimo la regresión de Muravyev (2016) para el cambio esperado, la cual se basa en datos históricos e incorpora e implementa la información pública disponible justo antes de una transacción para generar el cambio esperado del precio de la opción transada. A continuación, selecciono un subconjunto de todas las transacciones que satisfacen una serie de supuestos. Específicamente, selecciono aquellas transacciones en las que al menos dos mercados están publicando el mejor precio en la dirección de la transacción, los cuales utilizo para calcular las respuestas de los precios. Para cada transacción elegida computo las fórmulas que están dentro de las esperanzas al lado derecho de las ecuaciones (A.11), (A.12) y (A.13). Finalmente, el promedio de todas las respuestas individuales producen los estimadores finales γ , θ_1 y θ_2 de inventario e información asimétrica.

A.2. Cambios esperados en el precio

En esta sección se explica cómo el método de microestructura de Muravyev explica el efecto de la endogeneidad entre las transacciones y las quotes en el componente de información asimétrica del impacto de los precios. La información pública obsoleta es un buen predictor de futuros cambios

intradía en los precios bid y ask. Esta predictibilidad no afecta al componente de riesgo de inventario en la ecuación (3.11), pero afecta a los componentes de información asimétrica (3.12) y (3.13). Las transacciones y quotes son endógenas; más específicamente, las transacciones de compra (venta) tienden a llegar cuando el precio publicado está a punto de aumentar (disminuir) de todos modos, por lo que sólo una parte del aumento observado en el precio es causada por una transacción.

Hasbrouck (1991) y numerosos papers posteriores hacen hincapié en la importancia de tener en cuenta los cambios esperados en los precios para estimar el impacto de los precios. Muravyev y Pearson (2014) adoptan esta idea y muestran su importancia para el mercado de opciones. Consideran que el impacto observado en los precios exagera significativamente el impacto causal de las transacciones si no se tiene en cuenta los cambios esperados en el precio. El enfoque sigue de cerca a Muravyev y Pearson (2014).

Los cambios esperados de las quotes debido a la lentitud de la difusión de la información pública $\mathbb{E}(\Delta\mu_t^{*O}|F_t^*)$ en los tiempos t^* , pueden estimarse en dos pasos. En primer lugar, una regresión lineal aproxima $\mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t^*)$ y es estimada con datos históricos para los intervalos de tiempo equidistantes t . Después de eso, el modelo estimado se aplica a la información pública en el momento de las transacciones.

El primer paso se implementa de la siguiente manera. El cambio en el precio ask (bid) de una opción para un mercado determinado durante los próximos cinco segundos (para que coincida con el período de evaluación de los impactos en los precios) se predice mediante una batería de variables explicativas, incluido el historial de precios a corto plazo y la desviación de la quote desde el punto medio. Los cambios de precio de la stock ajustados por delta se toman para 12 snapshots de cinco segundos para adaptarse a la dinámica de precios más reciente. La desviación de la quote desde el punto medio está representada por la diferencia entre el precio ask y el punto medio promedio en todos los mercados. También se puede considerar como una medida del spread bid-ask. Si el precio ask está cerca (lejos de) el punto medio, entonces el precio ask es probable que aumente (disminuya) convergiendo a su promedio. Se podría decir que estas son las variables más importantes que abarcan la información pública disponible; sin embargo, otras variables pueden mejorar potencialmente la predictibilidad. Dado que la descomposición del impacto del precio solo utiliza mercados que cotizan los precios NBBO en el momento de la transacción, la regresión para los cambios de precios esperados aplica el mismo filtro.

$$\mathbb{E}(\Delta\mu_t^O|F_t) = \beta_0 + \beta_1(p_{t,i}^{a,O} - \mu_t^{BBO}) + \sum_{n=1}^{12} \beta_{n+1}(\Delta_{t-5n}^O \cdot \Delta S_{t-5n}) + \sum_{n=1}^{12} \beta_{n+13} \Delta p_{t-5n}^{a,O} + \epsilon_{t,i} \quad (\text{A.14})$$

La regresión es estimada separadamente para cada stock y seis grupos de deltas absolutos (cortes de 0.4 y 0.6) y tiempo-a-expiración (corte de 70 días) para bid y ask. Los coeficientes promedios a lo largo de todos los días de cada grupo son luego usados para la predicción.

La tabla A.1, a continuación, reporta los coeficientes promedio de la regresión a lo largo de todas las stocks para el horizonte de cinco segundos. Los cambios en el precio de la opción son altamente predictivos con un R-cuadrado aproximado de 3% y signos en la dirección esperada. La desviación de los precios es negativo debido a que los precios ask y bid convergen a su distancia promedio desde el punto medio. Consistente con Muravyev, et al. (2013), el mercado de opciones se retrasa ligeramente detrás del subyacente; el precio de la opción promedio-revertido e.g. debido a órdenes agresivas. El intercepto es positivo para el precio ask y negativo para el bid porque una market-maker ya está publicando el precio NBBO, por lo que hay poco espacio para mejorar ese precio. Todos los estimadores son altamente significativos y no varían mucho entre moneyness y tiempo a expiración.

En el siguiente paso, la misma regresión es estimada inmediatamente antes de cada transacción de una opción y son multiplicadas por los respectivos coeficientes de la regresión para calcular los cambios esperados en el precio. La tabla 2 resume los cambios esperados promedio para cada stock después de ajustar por la dirección de la transacción. Se espera que los precios cambien en la dirección de la transacción en un 0.09%. Si no fuera por este efecto, el impacto de información

asimétrica total estaría sobrestimado. En general, la dinámica de precios intradía es altamente predecible, y el efecto de ésta en los impactos de los precios es significativa y necesita ser tomada en cuenta.

Tabla A.1: Cambios esperados en los precios ask y bid

Lado	Money-ness	Tiempo-a-expiración	Intercepto	Desviación BBO	Cambios esperado en el precio de la opción				Cambios esperados en el precio de la stock ajustados por delta				R^2
					t-1	t-2	...	t-12	t-1	t-2	...	t-12	
Bid	OTM	ShortTerm	-0.065	-0.002	-0.231	-0.138	...	-0.009	0.094	0.074	...	0.020	0.044
	OTM	LongTerm	-0.083	-0.004	-0.248	-0.150	...	-0.016	0.122	0.098	...	0.022	0.035
	ATM	ShortTerm	-0.095	-0.004	-0.230	-0.138	...	-0.011	0.086	0.071	...	0.018	0.036
	ATM	LongTerm	-0.031	-0.007	-0.223	-0.135	...	-0.015	0.115	0.094	...	0.021	0.026
	ITM	ShortTerm	-0.081	-0.003	-0.201	-0.116	...	-0.008	0.061	0.048	...	0.013	0.033
	ITM	LongTerm	-0.138	-0.005	-0.178	-0.105	...	-0.011	0.072	0.059	...	0.015	0.022
Ask	OTM	ShortTerm	0.068	-0.004	-0.224	-0.130	...	-0.010	0.088	0.071	...	0.020	0.034
	OTM	LongTerm	0.092	-0.005	-0.254	-0.152	...	-0.017	0.119	0.095	...	0.021	0.026
	ATM	ShortTerm	0.095	-0.005	-0.232	-0.137	...	-0.011	0.084	0.072	...	0.018	0.026
	ATM	LongTerm	0.141	-0.006	-0.243	-0.145	...	-0.017	0.119	0.097	...	0.019	0.021
	ITM	ShortTerm	0.087	-0.003	-0.208	-0.118	...	-0.008	0.057	0.047	...	0.014	0.026
	ITM	LongTerm	0.150	-0.005	-0.208	-0.121	...	-0.014	0.076	0.063	...	0.017	0.017

Tabla A.1: **Resultados de la regresión que estima cambios de cinco segundos en el precio bid (ask) según los cambios retrasados en el precio de la opción y los cambios en el precio de la stock ajustado por delta.** *La desviación BBO es el punto medio promedio de las quotes en todos los mercados menos el precio bid (ask) actual. Los cambios de la opción retrasados se basan en doce intervalos de tiempo de cinco segundos equidistantes (solo se reportan los dos primeros y el último coeficiente). La regresión se estima por separado para los precios bid y ask para cada stock y seis deltas absolutos (recortes en 0.4 y 0.6) y el tiempo a expiración (corte de 70 días) en cada día; se reportan los coeficientes medios y R^2 . Sólo se incluyen las observaciones con el precio publicado igual a NBBO en el momento t . Todos los cambios se miden en centavos. Todos los coeficientes son estadísticamente significativos.*

A.3. Resultados 2018

Tabla A.2: Resumen Estadístico 2018

Variable	Promedio	Desviación Estándar	5 %	50 %	95 %
<i>Impacto de inventario, USD</i>	0.007	0.086	-0.025	0.000	0.050
<i>Impacto de información total, USD</i>	0.019	0.042	-0.005	0.008	0.080
<i>Impacto de información de dirección, USD</i>	0.013	0.324	-0.271	0.000	0.328
<i>Impacto de información de volatilidad, USD</i>	0.006	0.323	-0.287	0.002	0.312
<i>Impacto del subyacente, %</i>	0.072	0.359	-0.029	0.006	0.340
<i>Cambios esperados del precio, %</i>	0.074	1.141	-0.962	0.005	1.236
<i>Tamaño de la transacción, contratos</i>	7.829	20.822	1.000	3.000	28.000
<i>Tamaño de la transacción, USD</i>	17.127	52.304	0.695	5.475	63.200
<i>Call/Put Dummy</i>	0.631	0.483	0.000	1.000	1.000
<i>Buy/Sell Dummy</i>	0.490	0.500	0.000	0.000	1.000
<i>Precio de la opción, USD</i>	2.847	3.408	0.405	1.765	8.650
<i>Precio del subyacente, USD</i>	82.078	68.073	14.435	53.325	230.663
<i>Volatilidad implícita</i>	0.312	0.126	0.174	0.270	0.560
<i>Vega, ν</i>	0.096	0.069	0.017	0.074	0.242
<i>Delta absoluto, Δ</i>	0.447	0.156	0.224	0.431	0.731
<i>Días a expiración</i>	67.851	79.009	11.000	38.000	281.000
<i>Número de mercados con NBBO</i>	7.559	4.318	2.000	7.000	15.000
<i>Número de mercados con NBBO de los 5 más líquidos</i>	3.365	1.270	2.000	3.000	5.000

Tabla A.2: **Reporta las principales estadísticas de la muestra del 2018.** *Los componentes del impacto en los precios se calculan mediante las ecuaciones (3.11), (3.12) y (3.13), donde los impactos están en nivel y la respuestas se calculan en un periodo de evaluación de cinco segundos. Además, todos los impactos están ajustados por la dirección de la transacción para hacer comparables las ventas con las compras. En el caso del impacto del subyacente, éste también está ajustado por la clase de la opción transada, ya que se observa el precio ask del subyacente para las compras de call y ventas de put, y se observa el precio bid del subyacente para las compras de put y ventas de call. Cada contrato de opciones otorga el derecho sobre 100 stocks del subyacente.*

Tabla A.3: Componentes del impacto en el precio por stock muestra 2018

Ticker	# Obs.	Inventario	Información Total	Información Dirección	Información Volatilidad	Impacto Subyacente	Cambios Esperados
AAL	6915	0.004***	0.025***	0.010***	0.015***	0.129***	0.025
AAPL	47422	0.005***	0.022***	0.013***	0.008***	0.077***	0.042***
BAC	45484	0.005***	0.006***	0.003***	0.003***	0.015***	0.011***
BMY	9455	0.006***	0.029***	0.014***	0.015***	0.103***	0.354***
C	21927	0.003***	0.017***	0.008***	0.008***	0.060***	0.095***
CAT	10330	0.009***	0.041***	0.032***	0.009***	0.181***	-0.009
CHK	5357	0.006***	0.005***	0.002***	0.003***	0.022***	0.012***
CLF	7374	0.002***	0.007***	0.004***	0.003***	0.098***	0.053***
CMCSA	7877	0.006***	0.015***	0.010***	0.005***	0.042***	0.52***
CSCO	23000	0.003***	0.008***	0.006***	0.003***	0.031***	-0.013***
CVX	7537	0.004***	0.024***	0.014***	0.010***	0.109***	0.062***
DAL	10006	0.005***	0.016***	0.014***	0.003*	0.073***	0.132***
DIS	9633	0.008***	0.018***	0.018***	-0.001	0.070***	0.191***
F	6599	0.003***	0.004***	0.001***	0.003***	0.017***	0.025***
FB	36700	0.009***	0.028***	0.024***	0.004**	0.101***	0.070***
FCX	16203	0.004***	0.007***	0.004***	0.003***	0.055***	0.059***
GE	34538	0.005***	0.006***	0.003***	0.003***	0.024***	0.031***
GILD	15834	0.007***	0.025***	0.023***	0.002	0.112***	0.028***
GM	15466	0.002***	0.012***	0.010***	0.002**	0.074***	0.093***
GS	8638	0.007***	0.057***	0.054***	0.003	0.155***	0.092***
HD	6943	0.004***	0.033***	0.025***	0.008**	0.104***	0.012
IBM	6959	0.015***	0.031***	0.016***	0.015***	0.099***	0.057***
INTC	42291	0.004***	0.012***	0.005***	0.007***	0.044***	0.022***
JCP	2598	0.003***	0.011***	0.002**	0.008***	0.083***	1.525***
JPM	20968	0.005***	0.019***	0.014***	0.005***	0.074***	0.008*
KMI	2623	0.001**	0.011***	0.006***	0.004***	0.039***	0.170***
KO	14046	0.001***	0.009***	0.006***	0.003***	0.041***	0.005*
M	11989	0.003***	0.012***	0.012***	0.000	0.077***	0.240***
MS	8551	0.005***	0.012***	0.011***	0.001	0.055***	0.080***
MSFT	36575	0.004***	0.019***	0.008***	0.011***	0.057***	0.088***
MU	60176	0.007***	0.015***	0.004***	0.010*	0.066***	0.034***
NFLX	18034	0.008***	0.055***	0.046***	0.010*	0.189***	0.007
NKE	9093	0.004***	0.017***	0.011***	0.007***	0.074***	0.162***
NVDA	20053	0.053***	0.059***	0.057***	0.003	0.187***	0.002
ORCL	12189	0.005***	0.013***	0.005***	0.008***	0.033***	0.198***
PFE	10367	0.004***	0.009***	0.008***	0.001	0.033***	0.023***
PG	5084	0.004***	0.015***	0.011***	0.004***	0.053***	0.016***
QCOM	11159	0.060***	0.041***	0.010**	0.031***	0.110***	0.241***
RIG	8433	0.001***	0.006***	0.004***	0.003***	0.040***	0.074***
SBUX	12215	0.002***	0.012***	0.011***	0.001	0.045***	0.101***
T	23014	0.005***	0.008***	0.006***	0.002**	0.023***	0.191***
TGT	6227	0.008***	0.024***	0.017***	0.007	0.144***	0.031***
TSLA	6227	0.016***	0.075***	0.083***	-0.008	0.209***	0.006
TWTR	32325	0.007***	0.016***	0.009***	0.007***	0.095***	0.042***
V	4673	0.011***	0.023***	0.019***	0.004	0.105***	0.013
VZ	13888	0.003***	0.009***	0.007***	0.002***	0.042***	0.170***
WFC	9824	0.006***	0.013***	0.006***	0.007***	0.035***	0.137***
WMT	13609	0.004***	0.018***	0.014***	0.004**	0.092***	0.070***
X	6663	0.009***	0.019***	0.013***	0.007**	0.160***	0.009
XOM	12724	0.004***	0.014***	0.009***	0.004***	0.038***	0.103***
Total	795,815	0.007***	0.019***	0.013***	0.006***	0.072***	0.074***

Tabla A.3: **Reporta los componentes de riesgo de inventario e información de las opciones de cada stock de la muestra del 2018, así como también sus cambios esperados en el precio y el impacto de sus subyacentes.** *Los componentes se estiman a través de las ecuaciones (3.11), (3.12), (3.13). Los impactos están en nivel y la respuestas se calculan en un periodo de evaluación de cinco segundos. En el caso del impacto del subyacente, éste también está ajustado por la clase de la opción transada, ya que se observa el precio ask del subyacente para las compras de call y ventas de put, y se observa el precio bid del subyacente para las compras de put y ventas de call. Además, todos los impactos están ajustados por la dirección de la transacción para hacer comparables las ventas con las compras. ***, **, * denotan una significancia estadística al 1 %, 5 % y 10 % respectivamente.*

Tabla A.4: Impactos condicionados por las características de la transacción y la opción muestra 2018

	Inventario, USD	Información Dirección, USD	Información Volatilidad, USD	Impacto Subyacente, %
Vega, ν	0.0454***	-0.1011***	0.0786**	-0.0586
Delta absoluto, $ \Delta $	0.0063***	0.0119	0.0045	0.0217*
$ \Delta $, si $ \Delta < 0.4$	-0.0002	0.0210***	-0.0148***	-0.0115
$ \Delta $, si $0.4 \leq \Delta < 0.6$	0.0021**	0.0037	-0.0022	-0.0132***
$\sqrt{\text{Días a expiración}}$	0.0006***	0.0005*	0.0002	0.0003
Call/Put dummy	0.0018***	-0.0047***	0.0011	-0.0020
Precio de la opción	0.0001	0.0051***	-0.0019	0.0004
Compra/Venta Dummy	-0.0002	-0.0015*	0.0018*	-0.0002
$\sqrt{\text{Volumen de la transacción}}$	0.0006***	0.0009**	0.0016***	0.0015***
Volumen de la transacción	-0.0000***	-0.0000*	-0.0001***	-0.0000
Efecto fijo de tiempo	Sí	Sí	Sí	Sí
Efecto fijo de subyacente	Sí	Sí	Sí	Sí
R^2	0.0042	0.0040	0.0005	0.0046
Observaciones	795,815	795,815	795,815	795,815

Tabla A.4: **Impactos de las características de las transacciones y opciones en los distintos componentes de riesgo de la muestra del 2018.** *Los componentes se estiman a través de las ecuaciones (3.11), (3.12), (3.13). La no linealidad del tamaño de la transacción se representa mediante la raíz cuadrada, en adición al término lineal. La no linealidad en el delta absoluto se representa incluyendo variables iguales al delta absoluto para distintos grupos de moneyness (out-of-the-money o at-the-money), y cero en caso contrario. Los efectos fijos de stock-fecha son incluidos, pero no reportados. ***, ** y * denotan una significancia estadística al 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.*

Tabla A.5: Información asimétrica de volatilidad en presencia de straddles muestra 2018

	Muestra Total	Muestra ATM	Muestra Straddle 10s	Muestra Straddle 5s
Observaciones	795,815	175,947	7,053	5,523
Información de volatilidad, USD	0.0059	0.0082	0.0075	0.0085
Mitad bid-ask spread, USD	0.0311	0.0329	0.0251	0.0247
% de la mitad del bid-ask spread	19,0 %	25,0 %	29,9 %	34,5 %

Tabla A.5: **Reporta el impacto de información asimétrica de volatilidad en cuatro muestras para evaluar el desempeño del modelo ante estrategias de straddle.** *El componente se estima a través de la ecuación (3.13). La primera muestra considera todo el conjunto de observaciones, la segunda solo las opciones que tienen delta entre 0.45 y 0.55, la tercera solo las opciones con delta entre 0.45 y 0.55 que fueron parte de un straddle con un algoritmo de búsqueda de straddles entre $t-10$ y $t+10$, y la cuarta solo las opciones con delta entre 0.45 y 0.55 que fueron parte de un straddle con un algoritmo de búsqueda de straddles entre $t-5$ y $t+5$. De la misma forma, al lado izquierdo se presenta el total de observaciones de cada muestra, su respectivo componente de información de volatilidad, la mitad del bid-ask spread promedio, y el porcentaje que representa el componente de volatilidad en la mitad del respectivo bid-ask promedio.*

A.4. Chequeo inventario

Tabla A.6: Componente de inventario en mercados líquidos y en mercados no líquidos 2017

	Muestra 5 mercados más líquidos	Muestra siguientes 5 mercados más líquidos	Muestra 5 mercados más líquidos ATM	Muestra siguientes 5 mercados más líquidos ATM
Observaciones	679,184	220,788	154,300	49,749
Inventario, USD	0.0027	0.0066	0.0026	0.0064
Mitad bid-ask spread, USD	0.0172	0.0181	0.0181	0.0191
% de la mitad del bid-ask spread	15,8 %	36,4 %	14,5 %	33,7 %

Tabla A.7: Componente de inventario en mercados líquidos y en mercados no líquidos 2018

	Muestra 5 mercados más líquidos	Muestra siguientes 5 mercados más líquidos	Muestra 5 mercados más líquidos ATM	Muestra siguientes 5 mercados más líquidos ATM
Observaciones	795,815	329,689	175,947	75,265
Inventario, USD	0.0072	0.0173	0.0080	0.0195
Mitad bid-ask spread, USD	0.0311	0.0290	0.0329	0.0308
% de la mitad del bid-ask spread	23,3 %	59,5 %	24,4 %	63,2 %

Tabla A.6 y A.7: **Reporta el impacto de inventario en 4 muestras para comparar con los resultados de Muravyev en las muestras del 2017 y 2018.** *El componente se estima a través de la ecuación (3.11). Muravyev en su estudio encuentra que el componente de inventario tiene una mayor relevancia en el impacto en el precio que el componente de información, a diferencia de lo que se reporta en esta tesis. Una de las potenciales razones de esto, es que en la muestra que utilizó Muravyev (2003-2006) los mercados eran menos líquidos, por lo que el riesgo de inventario cobraba mayor importancia para los market-makers que la información asimétrica. Es por esto que se hizo el chequeo en 4 muestras distintas. La primera muestra consiste en realizar los cálculos en los 5 mercados más líquidos (tal como en la tesis), la segunda en los siguientes 5 mercados más líquidos (del sexto al décimo mercado en orden de liquidez), y las siguientes dos muestras son las mismas que las anteriores pero en opciones ATM. De la misma forma, al lado izquierdo se presenta el total de observaciones de cada muestra, su respectivo componente de inventario, la mitad del bid-ask spread promedio, y el porcentaje que representa el componente de inventario en la mitad del respectivo bid-ask promedio.*

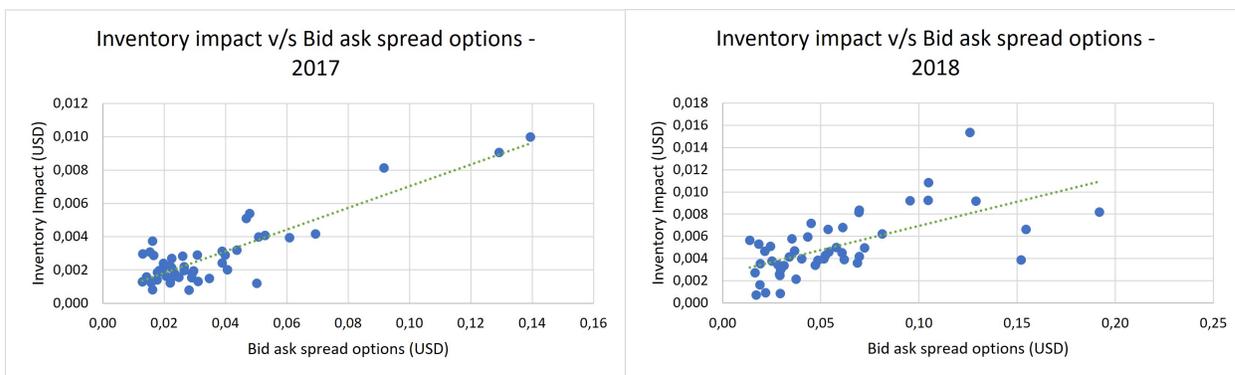


Figura A.1: Correlación entre el impacto de inventario y el bid ask spread promedio de las opciones - 2017 y 2018

Figura que muestra cómo aumenta el componente de inventario a medida que aumenta el bid ask spread de las opciones Como chequeo de robustez, se realiza el ejercicio de evaluar qué sucede con el componente de inventario en función del spread que presentan las opciones. Se puede ver en el gráfico que mientras mayor el spread, es decir, menor liquidez de las opciones, mayor es el componente de inventario, lo que guarda sentido con lo que uno esperaría en la teoría. Esto va en línea con el ejercicio mostrado previamente, en el que el impacto de inventario aumenta en los mercados menos líquidos, ya que para el market-maker es más complejo balancear su inventario y seguir con la estrategia delta neutral cuando hay menos órdenes entrando y saliendo.

A.5. Chequeo información de dirección

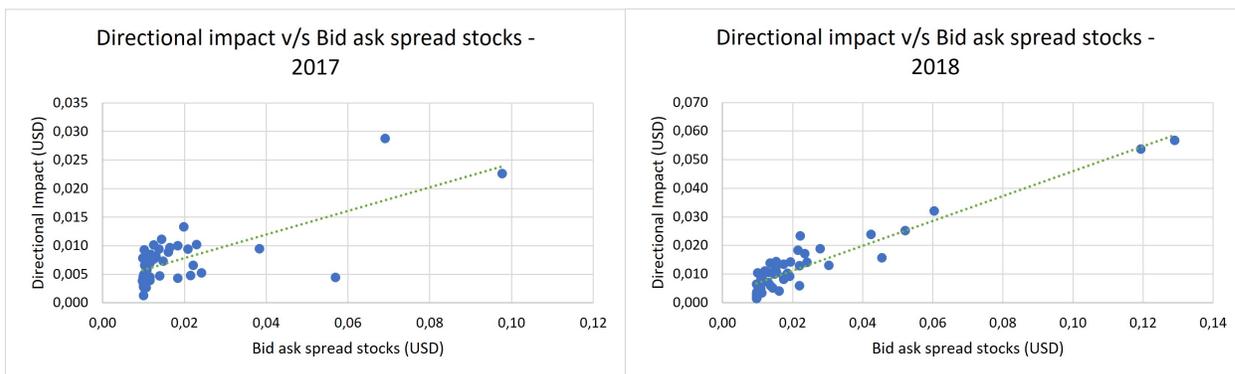


Figura A.2: Correlación entre el impacto de dirección y el bid ask spread promedio de las stocks - 2017 y 2018

Figura que muestra cómo aumenta el componente de dirección a medida que aumenta el bid ask spread de las stocks Como chequeo de robustez, se realiza el ejercicio de evaluar qué sucede con el componente de dirección en función del spread que presentan las stocks. Se puede ver en el gráfico que mientras mayor el spread, es decir, menor liquidez de las stocks, mayor es el componente de inventario, lo que guarda sentido con lo que uno esperaría en la teoría. Las stocks con mayor spread suelen ser compañías menos líquidas y, por ende, más pequeñas. Es en estas empresas donde los inversionistas comúnmente explotan las oportunidades de arbitraje e información

asimétrica, por lo que es en estas stocks donde el market-maker debería poner mayor atención al impacto de dirección, que es lo que en definitiva se puede ver en el gráfico.

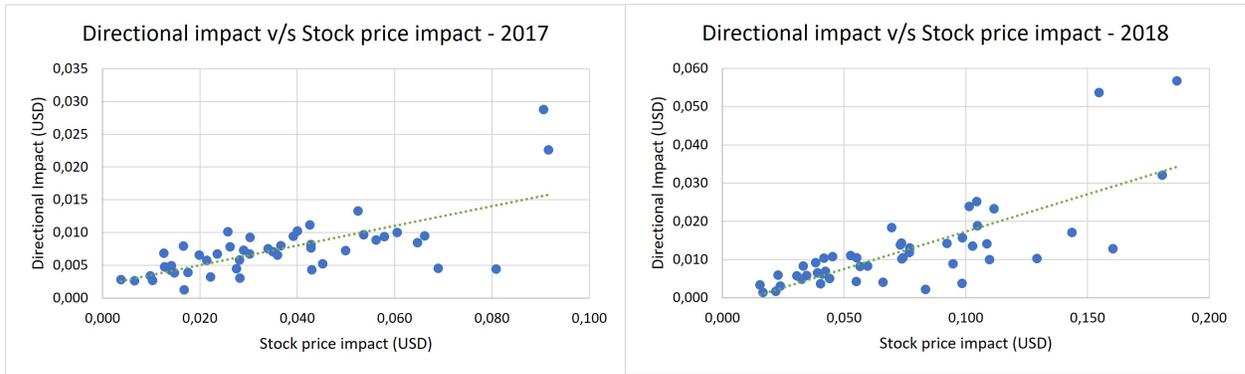


Figura A.3: Correlación entre el impacto de dirección y el impacto de las stocks - 2017 y 2018

Figura que muestra cómo aumenta el componente de dirección a medida que aumenta el impacto de las stocks Como chequeo de robustez, se realiza el ejercicio de evaluar qué sucede con el componente de dirección en función del impacto de las stocks. Se puede ver en el gráfico que mientras mayor es el impacto de las stocks, mayor es el componente de dirección, lo que guarda sentido con lo que uno esperaría en la teoría. Cuando se manifiesta la información asimétrica de dirección, se esperaría luego que esta información se vea reflejada en el precio de la stock, que es lo que precisamente se puede ver en la figura. Mientras mayor es el impacto por información asimétrica de dirección, mayor es el impacto en el precio de la stock en la dirección anticipada.